

Express Mail Label No.

Dated: _____

Docket No.: 01641/0200095-USO
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Hans-Jurgen Mann, et al.

Application No.: Not Yet Assigned

Confirmation No.:

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: OBJECTIVE WITH PUPIL OBSCURATION

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Germany	101 39 177.3	August 16, 2001

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: November 21, 2003

Respectfully submitted,

By

Melvin C. Garner

Registration No.: 26,272

DARBY & DARBY P.C.

P.O. Box 5257

New York, New York 10150-5257

(212) 527-7700

(212) 753-6237 (Fax)

Attorneys/Agents For Applicant

[Handwritten Signature]
MARIE GILFILLAN
44085

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung



Aktenzeichen: 101 39 177.3

Anmeldetag: 16. August 2001

Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss, Heidenheim an der Brenz/DE

Bezeichnung: Objektiv mit Pupillenobskuration

IPC: G 02 B 17/06



Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Kahle




Beschreibung:

01093 P

Objektiv mit Pupillenobskuration

- 5 Die Erfindung betrifft ein Objektiv mit Spiegeln, deren zentrale Spiegelöffnungen eine Pupillenobskuration hervorrufen. Das Objektiv umfaßt dabei zwei Teilobjektive, wobei das erste Teilobjektiv eine erste Feldebene auf ein Zwischenbild und das zweite Teilobjektiv das Zwischenbild auf eine zweite Feldebene abbildet. Derartige Objektive werden beispielsweise als Projektionsobjektive in der Mikrolithographie oder als Inspektionsobjektive zur Beobachtung von Oberflächen, insbesondere Wafer-Oberflächen eingesetzt.

- 15  Katoptrische Reduktionsobjektive mit einer Pupillenobskuration und Zwischenbild zur Anwendung in Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen sind aus der EP 0 267 766 A2 bekannt. Die Ausführungsbeispiele von Figur 2 und Figur 3 zeigen Objektive, die aus einem ersten Teilobjektiv und aus einem zweiten Teilobjektiv bestehen. Die beiden Teilobjektive stellen dabei zwei gegeneinander gestellte Quasi-Schwarzschild-Objektive mit unterschiedlich großem Abbildungsmaßstab dar. Die Quasi-Schwarzschild-Objektive sind aus einem konvexen und einem konkaven Spiegel aufgebaut, welche
- 20 jeweils eine zentrale Spiegelöffnung aufweisen. Bei den dort gezeigten Objektiven ist die Aperturobskuration von 0.38, bzw. 0.33 im Vergleich zur bildseitigen numerischen Apertur von 0.3 relativ groß. Außerdem weisen die Objektive nur einen Abbildungsmaßstab von 0.6, bzw. von 0.4 auf. Durch die Konfiguration der zwei gegeneinander gestellten Quasi-Schwarzschild-Objektive ist die numerische Apertur am Zwischenbild größer als in der
- 25 Bildebene.

- Ein reflektives Projektionsobjektiv für die EUV (Extreme Ultraviolet)-Lithographie mit Pupillenobskuration, aber ohne ein Zwischenbild ist aus der US 5,212,588 bekannt. Das Projektionsobjektiv besteht dabei aus einem konvexen Spiegel mit einer zentralen
- 30 Spiegelöffnung und einem konkaven Spiegel mit einer zentralen Spiegelöffnung. Die von der Objektebene ausgehenden Strahlen werden an den beiden Spiegeln vier Mal reflektiert,

bevor sie auf die Bildebene treffen. Die bildseitige numerische Apertur beträgt bei einer Aperturobskuration zwischen 0.4 und 0.7 nur zwischen 0.08 und 0.3. Der Abbildungsmaßstab in den Ausführungsbeispielen beträgt zwischen -0.3 und -0.2.

- 5 Ein weiteres reflektives Projektionsobjektiv für die EUV-Lithographie mit Pupillenobskuration, aber ohne Zwischenbild ist aus der US 5,003,567 bekannt. Das Projektionsobjektiv besteht dabei aus einem Paar von sphärischen, mit Multilayern beschichteten Spiegeln, welche einen gemeinsamen Krümmungsmittelpunkt aufweisen. Der erste Spiegel ist dabei ein konvexer Spiegel, der zweite Spiegel ein konkaver Spiegel. Diese Objektive vom Schwarzschild-Typ weisen jedoch eine große Bildfeldkrümmung auf, so daß die US 5,003,567 vorschlägt, die Struktur tragende Maske (Retikel) auf einem gekrümmten Substrat aufzubringen.

- 15 Reflektive Projektionsobjektive für die EUV-Lithographie mit Pupillenobskuration und Zwischenbild sind auch aus der EP 1 093 021 A2 bekannt. Das zwischen der Objektebene und dem Zwischenbild angeordnete erste Teilobjektiv weist dabei vier oder sechs Spiegel auf, die bis auf den in der Blendenebene angeordneten Spiegel außeraxial eingesetzt werden. Das erste Teilobjektiv führt dabei zu keiner Pupillenobskuration. Das zweite Teilobjektiv besteht aus einem konvexen Spiegel mit einer außeraxialen Spiegelöffnung und einem konkaven Spiegel mit einer außeraxialen Spiegelöffnung. Der Spiegel, welcher der Bildebene geometrisch am nächsten liegt, ist ein konvexer Spiegel ist, so daß die Dicke des Spiegelsubstrates auf der optischen Achse am größten ist. Dies führt zu einer größeren Aperturobskuration, wenn man den freien bildseitigen Arbeitsabstand und die Substratdicke des konvexen Spiegels berücksichtigt. Zudem weisen konvexe Spiegel in der Regel geringere Durchmesser als konkave Spiegel auf, da sie zerstreudend wirken. Bei 20
25 geringem Spiegeldurchmesser ist jedoch die Spiegelobskuration, also das Verhältnis des Durchmessers der Spiegelöffnung zum Durchmesser des Spiegels, ungünstiger.

- 30 Ein katoptrisches Mikroskopobjektiv mit Pupillenobskuration, aber ohne Zwischenbild ist aus der US 4,863,253 bekannt. Es besteht aus einem konvexen Spiegel ohne eine zentrale Spiegelöffnung und einem konkaven Spiegel mit einer zentralen Spiegelöffnung. Bei

dieser Anordnung treten die Strahlen nach der Reflexion am konkaven Spiegel nicht durch eine Spiegelöffnung im konvexen Spiegel hindurch, sondern werden außen am ersten Spiegel vorbei geführt. Dies führt zu einer sehr großen Aperturobskuration durch den konvexen Spiegel.

5

Aus der Veröffentlichung „Aplanatic corrector designs for the extremely large telescope“ von Gil Moretto (Applied Optics; Vol. 39, No. 16; 1 June 2000; 2805-2812) ist ein Spiegel-Teleskop bekannt, das nach einem sphärischen Primärspiegel ein Korrektionsobjektiv aufweist, welches die von dem Primärspiegel hervorgerufene sphärische Aberration und Koma korrigiert. Das Korrektionsobjektiv bildet dabei das von dem Primärspiegel erzeugte Zwischenbild mit einem Abbildungsmaßstab von 3.5 vergrößert auf die Bildebene des Teleskops ab. Das Objektiv besteht dabei aus zwei konkaven Spiegeln, welche das Zwischenbild auf ein weiteres Zwischenbild abbilden und einem Spiegelpaar aus einem konkaven Spiegel und einem konvexen Spiegel, welche das weitere Zwischenbild auf die Bildebene des Teleskops abbilden. Die Abbildung des vom Primärspiegel erzeugten Zwischenbildes auf das weitere Zwischenbild ist verkleinernd mit einem Abbildungsmaßstab von 0.9, während die Abbildung vom weiteren Zwischenbild zur Bildebene des Teleskops vergrößernd mit einem Abbildungsmaßstab von -3.75 ist. Die numerische Apertur an der Bildebene des Teleskops beträgt 0.1, am Zwischenbild 0.345. Aufgrund der Spiegelöffnungen weist das Objektiv eine Pupillenobskuration auf, welche im Vergleich zur numerischen Apertur relativ groß ist. Das Korrektionsobjektiv weist zudem eine relativ große Bildfeldkrümmung auf, da der konvexe Spiegel nur eine geringe Krümmung aufweist.

15

20

25

30

Ein Korrektionsobjektiv für ein Teleskop ist auch aus der Veröffentlichung „Optical design of the Hobby-Eberly Telescope Four Mirror Spherical Aberration Corrector“ von R.K. Jungquist (SPIE Vol. 3779, 2-16, July 1999) bekannt. Das optische Design ist sehr ähnlich zu dem zuvor beschriebenen Korrektionsobjektiv. Bei dem gezeigten Korrektionsobjektiv werden ausschließlich konkave Spiegel verwendet, so daß die Bildfeldkrümmung relativ groß ist.

Aus der Veröffentlichung „Digital Micromirror Array for Projection TV“ von M.A. Mignard (Solid State Technology, July 1994, pp. 63-68) sind ansteuerbare Mikrospiegel-Arrays bekannt. Deren Verwendung als abzubildendes Objekt in Projektionsbelichtungsanlagen ist Inhalt der Patentschriften US 5,523,193, US 5,691,541, US 6,060,224 und US 5,870,176. In den dort beschriebenen Ausführungsbeispielen ist das jeweilige Projektionsobjektiv jedoch nur schematisch dargestellt. Konkrete Ausführungsbeispiele für Projektionsobjektive, welche an die Anforderungen der sogenannten maskenlosen Lithographie angepaßt sind, sind in den Schriften nicht enthalten.

Aus der DE 197 31 291 C2 ist ein katadioptrisches Abbildungsobjektiv mit Pupillenobskuration und Zwischenbild bekannt. Das Objektiv weist dabei ein refraktives und ein katadioptrisches Teilobjektiv auf und wird in einem breiten UV-Wellenlängenbereich eingesetzt. Neben Linsen zur Farbkorrektur sind in dem katadioptrischen Teilobjektiv ein konkaver Spiegel und einen annähernd planer Spiegel angeordnet. Ein Einsatz dieses Objektivs bei EUV-Wellenlängen ($< 20\text{nm}$) ist auf Grund der Verwendung von Linsen nicht möglich. Das Abbildungsobjektiv wird beispielsweise in einem Inspektionssystem zur Beobachtung von Wafer-Oberflächen eingesetzt.

Aufgabe der Erfindung ist es, abbildende Objektive mit Pupillenobskuration zu verbessern, insbesondere die Aperturobskuration zu reduzieren.

Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Objektiv gemäß Anspruch 1, einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 22 und 24, einem Verfahren zum Belichten von lichtempfindlichen Substraten gemäß Anspruch 23 und 25, einem Inspektionssystem gemäß Anspruch 27 und einem Verfahren zum Beobachten einer Oberfläche eines Objektes gemäß Anspruch 28.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der abhängigen Ansprüche.

Gemäß Anspruch 1 umfaßt das Objektiv ein erstes Teilobjektiv und ein zweites Teilobjektiv, welche entlang einer optischen Achse angeordnet sind.

Das erste Teilobjektiv bildet eine erste Feldebene auf ein Zwischenbild ab. Es umfaßt dabei einen ersten konvexen Spiegel mit einer ersten zentralen Spiegelöffnung und einen zweiten konkaven Spiegel mit einer zweiten zentralen Spiegelöffnung. Lichtstrahlen, welche von der ersten Feldebene ausgehen, treten dabei zunächst durch die zweite Spiegelöffnung, werden am ersten Spiegel reflektiert, am zweiten Spiegel reflektiert und treten dann durch die erste Spiegelöffnung. Da der Durchmesser der zweiten Spiegelöffnung maßgeblich durch den Durchmesser des ersten Spiegels bestimmt ist, ist es zur Verringerung der Aperturobskuration günstig, den ersten Spiegel als konvexen Spiegel und den zweiten Spiegel als konkaven Spiegel vorzusehen, so daß der erste Spiegel einen deutlich geringeren Durchmesser als der zweite Spiegel aufweist.

Der erste Spiegel und der zweite Spiegel sind in einem ersten axialen Abstand angeordnet. Der axiale Abstand zwischen zwei Spiegeln wird in dieser Anmeldung, soweit nichts anderes gesagt wird, zwischen den Flächenscheiteln der beiden Spiegel bestimmt. Bei Spiegeln mit zentraler Spiegelöffnung gibt der Flächenscheitel den Punkt auf der optischen Achse an, in dem die Spiegelfläche die optische Achse schneiden würde, wenn der Spiegel keine Spiegelöffnung aufweisen würde. Der zweite Spiegel weist zum Zwischenbild einen zweiten axialen Abstand auf. Der Ort des Zwischenbildes ist dabei durch die paraxiale Lage des Zwischenbildes gegeben. Um die Aperturobskuration so gering wie möglich zuhalten, weist das Verhältnis von erstem axialen Abstand zu zweitem axialen Abstand einen Wert zwischen 0.95 und 1.05, insbesondere zwischen 0.98 und 1.02 auf. In diesem Fall befindet sich das Zwischenbild nahezu am Ort des ersten Spiegels. Da der Durchmesser eines Strahlbüschels in Feldebene minimal ist und der Büscheldurchmesser andererseits den Durchmesser einer Spiegelöffnung bestimmt, ist es günstig, das Zwischenbild so nah wie möglich am Ort des ersten Spiegels zu platzieren. Das Zwischenbild kann sich somit beispielsweise auch zwischen dem ersten Spiegel und dem zweiten Spiegel, auf dem Flächenscheitel des ersten Spiegels oder in Lichtrichtung nach

dem Flächenscheiteln des ersten Spiegels befinden, wobei oben genannte Abstandsbedingung erfüllt sein sollte.

Mit dem zweiten Teilobjektiv wird das Zwischenbild auf eine zweite Feldebene abgebildet.

- 5 Dadurch wird erreicht, daß zwischen den optischen Komponenten des Objektivs und der zweiten Feldebene ein ausreichend großer freier optischer Arbeitsabstand vorhanden ist, welcher zwischen dem Zwischenbild und den optischen Komponenten des ersten Teilobjektivs nicht vorhanden ist. Das zweite Teilobjektiv weist einen dritten konkaven Spiegel mit einer dritten zentralen Spiegelöffnung und einen vierten konkaven Spiegel mit einer vierten zentralen Spiegelöffnung auf, die einander zugewandt angeordnet sind.
- 10 Lichtstrahlen treten dabei zunächst durch die vierte Spiegelöffnung, werden am dritten Spiegel reflektiert, werden am vierten Spiegel reflektiert und treten dann durch die dritte Spiegelöffnung. Um die Aperturobskuration so gering wie möglich zu halten, ist der dritte Spiegel so nahe an der zweiten Feldebene angeordnet, wie dies der freie optische
- 15 Arbeitsabstand zuläßt. Zudem ist der dritte Spiegel ein konkaver Spiegel mit einem relativ großen Durchmesser, so daß das Verhältnis aus dem Durchmesser der Spiegelöffnung zum Durchmesser des Spiegels kleinere Werte annimmt. Der axiale Abstand zwischen dem dritten Spiegel und der zweiten Feldebene wird im folgenden mit Z_{M3-IM} bezeichnet. Der Abstand Z_{M3-IM} weist vorteilhafterweise einen Minimalwert auf, welcher gleich der Summe
- 20 aus der minimalen Substratdicke des dritten Spiegels und einem minimalen freien optischen Arbeitsabstand ist. Die minimale Substratdicke wird dabei auf der optischen Achse zwischen dem Flächenscheitel und der Rückfläche angegeben, auch wenn der Spiegel auf Grund der zentralen Spiegelöffnung dort kein Substratmaterial aufweist. Die minimale Substratdicke beträgt 3% des Durchmessers des Spiegels. Da es sich um einen
- 25 konkaven Spiegel handelt, ist die physikalisch vorhandene Substratdicke des dritten Spiegels größer. Wenn es die Aperturobskuration zuläßt, ist es günstig, wenn die minimale Substratdicke auf der Achse 5% oder sogar 10% des Durchmessers eines konkaven Spiegels mit zentraler Spiegelöffnung beträgt. Der minimale freie optische Arbeitsabstand zwischen der Rückfläche des dritten Spiegels und der zweiten Feldebene beträgt 5.0mm.
- 30 Dieser freie optische Arbeitsabstand gewährleistet die Positionierung eines Objektes in der zweiten Feldebene. Der Maximalwert des Abstandes Z_{M3-IM} hängt zum einen von der

tolerierbaren Aperturobskuration und zum anderen von der numerischen Apertur NA in der zweiten Feldebene ab. Für eine geringe Aperturobskuration ist es günstig, wenn der Durchmesser Du_{M3} der dritten Spiegelöffnung kleiner ist als 50% des Durchmessers des dritten Spiegels. Da der Durchmesser der dritten Spiegelöffnung linear mit dem Tangens des Arcussinus der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene und dem Abstand des

$$Z_{M3-IM}^{max} = \frac{0.25 \cdot Du_{M3}}{\tan(\arcsin(NA))}$$

Um das Objektiv zur Abbildung eines ausgedehnten Objektes auf ein Bild, beispielsweise in einer Projektionsbelichtungsanlage oder in einem Inspektionssystem, einsetzen zu können, sollte die Bildfeldkrümmung des Objektivs möglichst gut korrigiert sein. Das Objektiv weist vorteilhafterweise einen Petzval-Radius auf, dessen Betrag größer als der axiale Abstand der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene ist. Zum Ausgleich der positiven Beiträge der konkaven Spiegel zur Petzval-Summe liefert der erste konvexe Spiegel einen großen negativen Beitrag. Da der erste konvexe Spiegel deshalb eine große negative optische Wirkung und damit im Vergleich zu den konkaven Spiegeln einen kleinen Durchmesser aufweist, ist dieser Spiegel besonders kritisch hinsichtlich seines Beitrages zur Aperturobskuration. Da er jedoch nahezu am Ort des Zwischenbildes angeordnet ist, weist das Objektiv trotz einer guten Petzval-Korrektur eine geringe Aperturobskuration auf.

Zur Abbildung tragen in diesem Objektiv mit Pupillenobskuration nur Lichtstrahlen mit Aperturwinkeln ab einem bestimmten minimalen Wert bei. Die Aperturwinkel werden dabei bezüglich der optischen Achse gemessen. Der minimale Aperturwinkel ergibt sich dabei für den Lichtstrahl, welcher gerade noch von allen Spiegeln übertragen und nicht durch eine Spiegelöffnung vignettiert wird. Die Lichtstrahlen werden dabei nicht direkt durch die Spiegelöffnungen vignettiert, sondern treten als Falschlicht durch diese hindurch und treffen auf eine spezielle Abschattungseinrichtung, während die übrigen Strahlen eines Strahlenbüschels mit größeren Aperturwinkeln von den Spiegeln reflektiert werden. Die

Aperturobskuration ist dabei als das Verhältnis von dem Sinus des minimalen Aperturwinkels in der zweiten Feldebene zu der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene definiert. Mit der Anordnung des Zwischenbildes in der Nähe des ersten Spiegels und der Verwendung eines konkaven Spiegels in der Nähe der zweiten Feldebene ist es möglich, für die Aperturobskuration Werte zu erreichen, welche kleiner als 0.6, insbesondere kleiner als 0.5 sind.

Neben einer geringen Aperturobskuration ist auch ein großer Wert für das Verhältnis von der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene zu der Aperturobskuration ein wesentliches Merkmal des Objektivs. Je größer die numerische Apertur des Objektivs in der zweiten Feldebene ist, um so schwieriger ist es, eine geringe Aperturobskuration zu erreichen. Das Objektiv zeichnet sich dadurch aus, daß dieses Verhältnis größer als 1.2, insbesondere größer als 1.5 ist.

Die numerische Apertur in der zweiten Feldebene ist dabei größer als 0.3, insbesondere größer als 0.4, besonders bevorzugt größer als 0.6.

Zwischen der ersten Feldebene und der zweiten Feldebene weist das Objektiv ein Abbildungsverhältnis von größer als 4:1, insbesondere größer als 10:1, besonders bevorzugt größer als 20:1 auf. Abbildungsverhältnisse zwischen 4:1 und 10:1 sind typisch für Projektionsobjektive für die Lithographie. Abbildungsverhältnisse größer als 20:1 sind beispielsweise interessant für Mikroskopobjektive, Inspektionsobjektive oder Projektionsobjektive, welche ein ansteuerbares Mikrospiegel-Array auf ein lichtempfindliches Substrat abbilden.

Da das Objektiv zwei Teilobjektive umfaßt, ist es günstig, wenn sowohl das Abbildungsverhältnis zwischen der ersten Feldebene und dem Zwischenbild, als auch das Abbildungsverhältnis zwischen dem Zwischenbild und der zweiten Feldebene größer als 1:1, insbesondere größer als 1.1:1 ist. Dadurch wird erreicht, daß die numerische Apertur zwischen der ersten Feldebene und der zweiten Feldebene stufenweise erhöht wird. Die maximale numerische Apertur tritt somit erst in der zweiten Feldebene auf.

Um die Aperturobskuration möglichst gering zuhalten, ist es günstig, wenn das erste Teilobjektiv zwischen der ersten Feldebene und dem Zwischenbild ein im Vergleich zum zweiten Teilobjektiv deutlich größeres Abbildungsverhältnis aufweist. So sollte dieses Abbildungsverhältnis größer als 3:1, insbesondere größer als 5:1, besonders bevorzugt größer als 10:1 sein.

Durch die negative optische Wirkung des ersten Spiegels ist es möglich, den Durchmesser des zweiten Spiegels deutlich größer als den Durchmesser des ersten Spiegels festzusetzen. Das Verhältnis von den Durchmesser des zweiten Spiegels zum Durchmesser des ersten Spiegels sollte dabei größer als 3:1, insbesondere größer als 5:1 sein. Da der Durchmesser der Spiegelöffnung des zweiten Spiegels näherungsweise gleich dem Durchmesser des ersten Spiegels ist, führt der zweite Spiegel nur zu einer geringen Aperturobskuration, beziehungsweise zu keiner Erhöhung der Aperturobskuration, welche durch die anderen Spiegel verursacht wird.

Da der Bündelquerschnitt der Lichtstrahlen im Bereich des Zwischenbildes und damit auch im Bereich des ersten Spiegels am geringsten ist, ist es günstig, den vierten Spiegel im Bereich des Zwischenbildes, beziehungsweise im Bereich des ersten Spiegels anzuordnen. Der axiale Abstand zwischen dem vierten Spiegel und dem ersten Spiegel sollte dabei kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene sein. Abmessungen werden in dieser Anmeldung, soweit nichts anderes gesagt wird, nicht absolut, sondern im Verhältnis zum axialen Abstand der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene angegeben, da alle Abmessungen mit diesem Abstand skalieren. Der erste Spiegel kann dabei durchaus in der Spiegelöffnung des vierten Spiegels angeordnet sein. Beide Spiegel können auch das gleiche Spiegelsubstrat aufweisen, wobei die Spiegelfläche des ersten Spiegels auf der Vorderfläche des Spiegelsubstrats und die Spiegelfläche des vierten Spiegels auf der Rückfläche des Spiegelsubstrats angebracht wird.

In einer vorteilhaften Ausführungsform werden die zuvor beschriebenen Merkmale mit nur vier Spiegeln erzielt.

Um die numerische Apertur zwischen der ersten Feldebene und der zweiten Feldebene in zwei Stufen erhöhen zu können, ist vorteilhafterweise zwischen dem Zwischenbild und der zweiten Feldebene ein weiteres Zwischenbild angeordnet. Dazu werden ein fünfter Spiegel mit einer fünften zentralen Spiegelöffnung und ein sechster Spiegel mit einer sechsten zentralen Spiegelöffnung optisch zwischen dem Zwischenbild und dem weiteren Zwischenbild angeordnet. Die Lichtstrahlen treten dabei zunächst durch die sechste Spiegelöffnung, werden an dem fünften Spiegel reflektiert, werden an dem sechsten Spiegel reflektiert und treten dann durch die fünfte Spiegelöffnung. Der dritte Spiegel und der vierte Spiegel befinden sich dann optisch zwischen dem weiteren Zwischenbild und der zweiten Feldebene. Das zweite Teilobjektiv weist somit zwei Subsysteme auf, wobei das erste Subsystem die optischen Komponenten zwischen dem Zwischenbild und dem weiteren Zwischenbild, insbesondere den fünften Spiegel und den sechsten Spiegel, und das zweite Subsystem die optischen Komponenten zwischen dem weiteren Zwischenbild und der zweiten Feldebene, insbesondere den dritten Spiegel und den vierten Spiegel umfaßt.

Wenn der fünfte Spiegel und der sechste Spiegel konkave Spiegel sind, können sie im Vergleich zu den Spiegelöffnungen relativ große Durchmesser aufweisen, so daß sie die Aperturobskuration wenn überhaupt nur geringfügig verschlechtern. Als konkave Spiegel sind sie einander zugewandt angeordnet.

Alternativ ist auch möglich, daß der fünfte Spiegel ein konvexer Spiegel und der sechste Spiegel ein konkaver Spiegel ist. Der fünfte Spiegel und der sechste Spiegel weisen dann eine Anordnung ähnlich wie der erste Spiegel und der zweite Spiegel auf.

Damit das vom sechsten Spiegel kommende Strahlbüschel am fünften Spiegel einen geringen Büscheldurchmesser und damit auch die fünfte Spiegelöffnung nur einen geringen Durchmesser aufweist, ist es günstig, wenn der Abstand des weiteren

Zwischenbildes vom fünften Spiegel kleiner als 5% des axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene ist.

- 5 Da die numerische Apertur am Zwischenbild deutlich größer als in der ersten Feldebene ist, sollte der sechste Spiegel nahe beim Zwischenbild, beziehungsweise beim ersten Spiegel angeordnet sein. Vorteilhafterweise ist der axiale Abstand des sechsten Spiegels zum ersten Spiegel kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene.

- 10 Aus dem gleichen Grund sollte der vierte Spiegel nahe beim weiteren Zwischenbild, beziehungsweise beim fünften Spiegel angeordnet sein. Vorteilhafterweise ist der axiale Abstand des vierten Spiegels und des fünften Spiegels kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene.

- 15 Mit der Anordnung von mindestens, insbesondere von genau sechs Spiegeln ist es möglich, in der zweiten Feldebene eine numerische Apertur größer als 0.6, insbesondere größer als 0.8 bei einer Aperturobskuration von kleiner 0.5 zu erzielen.

- 20 Wenn das abzubildende Objekt ein reflektives Objekt ist, muss das Beleuchtungslicht zwischen der ersten Feldebene und den optischen Komponenten des ersten Teilobjektivs eingekoppelt werden. Gerade bei EUV-Wellenlängen kleiner 20nm ist es günstig, wenn zur Einkopplung ein sogenannter grazing-incidence Spiegel zum Einsatz kommt, bei dem die Inzidenzwinkel der Strahlen zur Flächennormale größer 70° sind. Für derartige Spiegel ist jedoch ein ausreichend großer freier Arbeitsabstand vor der ersten Feldebene erforderlich.
- 25 Vorteilhafterweise ist dieser freie Arbeitsabstand größer als 20% des axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene.

- 30 Mit dem zuvor beschriebenen Aufbau des Objektivs ist es möglich, die Abbildung für ein Feld mit einem Durchmesser größer als 1.0mm in der zweiten Feldebene zu korrigieren.

Insbesondere ist das Verhältnis der sphärischen Aberration zum axialen Abstandes der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene kleiner als 10^{-5} . Der Wert der sphärischen Aberration gibt dabei die sphärische Aberration dritter Ordnung nach der Seidel-Theorie als Querabweichung an, wie er beispielsweise von dem Optik-Design-Programm CodeV berechnet wird.

Damit das Objektiv beispielsweise als Projektionsobjektiv oder als Inspektionsobjektiv eingesetzt werden kann, ist es günstig, wenn der axiale Abstand der ersten Feldebene zur zweiten Feldebene maximal 3000mm beträgt.

Weist das Objektiv ausschließlich Spiegel auf, so ist seine Anwendung nicht auf einen bestimmten Wellenlängenbereich beschränkt. Vielmehr ist es mit einer entsprechenden Beschichtung der Spiegel möglich, das Objektiv auf die entsprechende Arbeitswellenlänge anzupassen. Das Objektiv kann auch gleichzeitig bei zwei voneinander getrennten Arbeitswellenlängen eingesetzt werden, wenn die reflektierenden Schichten dies zulassen. Bei Projektionsobjektiven einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage kann beispielsweise die Abbildung bei einer ersten Wellenlänge erfolgen und die Ausrichtung (Alignment) von Struktur tragender Maske (Retikel) und lichtempfindlichem Substrat (Wafer) bei einer zweiten Wellenlänge. Es ist vorteilhaft, das Objektiv bei Wellenlängen kleiner 200nm einzusetzen, da bei diesen Wellenlängen nur wenige transparente Materialien wie beispielsweise Fluorid-Kristalle zur Verfügung stehen. Bei Wellenlängen kleiner 20nm ist der Einsatz von Spiegeln zwingend. Bei einer Arbeitswellenlänge von ca. 11nm - 13nm kommen beispielsweise Viellagenschichten aus den Materialien Molybden und Silizium, oder Molybden und Beryllium als Reflexbeschichtung der Spiegel zum Einsatz.

Die Anwendung des Objektivs ist nicht auf rein reflektive Objektive beschränkt. Es ist auch möglich, zwischen den einzelnen Spiegeln, insbesondere im Bereich der Feldebenen und im Bereich eines Zwischenbildes, Linsen anzuordnen. Mit diesen Linsen kann beispielsweise die Farbkorrektur erfolgen oder die Telezentrie eingestellt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Objektiv einen Abbildungsmaßstab auf, dessen Betrag kleiner als 1.0 ist. Dabei wird ein Objekt in der ersten Feldebene angeordnet, welches dann verkleinert auf ein Bild in der zweiten Feldebene abgebildet wird.

- 5 Derartige Objektive werden beispielsweise als Projektionsobjektive in Lithographie-Projektionsbelichtungsanlagen eingesetzt. In einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage beleuchtet ein Beleuchtungssystem eine Struktur tragende Maske (Retikel), welche von dem Projektionsobjektiv auf ein lichtempfindliches Substrat abgebildet wird.

10 Derartige Lithographie-Projektionsbelichtungsanlagen sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, beispielsweise für die EUV-Lithographie aus der US 5,212,588, US 5,003,567 oder EP 1 093 021 A2, deren Inhalt vollumfänglich in diese Anmeldung mit aufgenommen wird.

- 15 Mikrostrukturierte Halbleiterbauelemente werden in einer Vielzahl von einzelnen, sehr komplexen Verfahrensschritten hergestellt. Ein wesentlicher Verfahrensschritt betrifft dabei das Belichten von lichtempfindlichen Substraten (Wafern), beispielsweise mit Photolack versehenen Silizium-Substraten. Dabei wird bei der Herstellung eines einzelnen
20 sogenannten Layers das entsprechende Retikel von dem Projektionsobjektiv auf den Wafer abgebildet.

- An Stelle eines Retikels kann in einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage auch ein ansteuerbares Mikrospiegel-Array zum Einsatz kommen. Derartige Lithographie-
25 Projektionsbelichtungsanlagen sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, beispielsweise aus der US 5,523,193, US 5,691,541, US 6,060,224 und US 5,870,176, deren Inhalt vollumfänglich in diese Anmeldung mit aufgenommen wird. Da die zuvor beschriebenen Objektive ein Abbildungsverhältnis zwischen dem ansteuerbaren
Mikrospiegel-Array und einem lichtempfindlichen Substrat von größer als 20:1 zulassen,
30 weisen die Bilder der einzelnen Mikrospiegel, deren Ausdehnung in der Größenordnung von 1 µm beträgt, Abmessungen kleiner 50nm auf. Somit werden ansteuerbare

Mikrospiegel-Arrays auch für die Mikrolithographie interessant, da sich Auflösungen kleiner 100nm realisieren lassen.

Bei der Herstellung eines einzelnen Layers eines mikrostrukturierten

- 5 Halbleiterbauelements werden die Mikrospiegel gemäß einem vorgegebenen Muster derart angesteuert, daß nur die Strahlbüschel von denjenigen Mikrospiegeln, welche abgebildet werden sollen, in die Eintrittspupille des Objektivs gezielt werden. Alle anderen Strahlbüschel werden von einer geeigneten Strahlfalle daran gehindert, zur Abbildung beizutragen.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist das Objektiv einen Abbildungsmaßstab auf, dessen Betrag größer als 1.0 ist. Dabei wird ein Objekt in der zweiten Feldebene angeordnet, welches dann vergrößert auf ein Bild in der ersten Feldebene abgebildet wird.

15

Derartige Objektivs werden beispielsweise als Inspektionsobjektive in einem Inspektionssystem zur Beobachtung einer Oberfläche eines Objekts eingesetzt. Die Oberfläche des Objektes, insbesondere die Oberfläche eines Wafers wird von dem Inspektionsobjektiv stark vergrößert auf die Eintrittsfläche einer Beobachtungseinheit
20 abgebildet. Das Inspektionssystem weist ein Beleuchtungssystem auf, welches die Oberfläche direkt oder durch das Inspektionsobjektiv hindurch beleuchtet. Das Beleuchtungslicht wird dabei beispielsweise zwischen der Eintrittsfläche der Beobachtungseinheit und dem Inspektionsobjektiv oder innerhalb des Inspektionsobjektivs in den abbildenden Strahlengang eingekoppelt. Mit der Beobachtungseinheit wird das von
25 der Oberfläche reflektierte Licht nach verschiedenen Kriterien ausgewertet.

Derartige Inspektionssysteme sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, beispielsweise für den UV-Wellenlängenbereich aus der DE 197 31 291 C2, deren Inhalt vollumfänglich in diese Anmeldung mit aufgenommen wird.

30

Neben der Anwendung als Projektionsobjektiv oder als Inspektionsobjektiv kann das erfindungsgemäße Objektiv auch in anderen optischen Anordnungen eingesetzt werden, welche insbesondere bei EUV-Wellenlängen eine beugungsbegrenzte Abbildung bei sehr großen numerischen Aperturen erzielen sollen. Insbesondere bietet die Mikroskopie ein
5 breites Anwendungsgebiet.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnungen.

Figur 1A zeigt den Linsenschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels;

Figur 1B zeigt einen Ausschnitt aus Figur 1A;

Figur 2A zeigt den Linsenschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels;

15 Figur 2B zeigt einen Ausschnitt aus Figur 2A;

Figur 3A zeigt den Linsenschnitt eines dritten Ausführungsbeispiels;

Figur 3B zeigt einen Ausschnitt aus Figur 3A;

20 Figur 4 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem ansteuerbaren Mikrospiegel-Array;

Figur 5 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer Struktur tragenden Maske; und
25

Figur 6 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Inspektionssystem.

30 In Figur 1A ist ein erstes Ausführungsbeispiel für ein Objektiv 1 gemäß der Erfindung dargestellt. Da das Objektiv 1 eine sehr große Eingangsschnittweite aufweist, zeigt Figur 1B zur besseren Darstellung einen Ausschnitt aus Figur 1A. Die optischen Daten für

das erste Ausführungsbeispiel sind in Tabelle 1 im Format des Optik-Design-Programms CodeV angegeben.

Das Objektiv 1 besteht aus dem ersten Teilobjektiv 3 und dem zweiten Teilobjektiv 5, welche zentriert um die optische Achse OA angeordnet sind. Das Objektiv 1 bildet die erste Feldebene 7 mit einem Abbildungsverhältnis von 100:1 auf die zweite Feldebene 9 ab. Die numerische Apertur NA in der zweiten Feldebene 9 beträgt 0.7. Der Durchmesser des Feldes in der zweiten Feldebene 9 beträgt 2 mm. Der axiale Abstand zwischen der ersten Feldebene 7 und der zweiten Feldebene 9 beträgt 2000mm.

Das erste Teilobjektiv 3 bildet die erste Feldebene 7 mit einem Abbildungsverhältnis von 74:1 auf das Zwischenbild 11 ab. Es besteht aus dem konvexen Spiegel 13 mit der zentralen Spiegelöffnung 15 und dem konkaven Spiegel 17 mit der zentralen Spiegelöffnung 19. Die optische Wirkung des konkaven Spiegels 17 ist derart ausgelegt, daß das Zwischenbild 11 in der Nähe des konvexen Spiegel 13 erzeugt wird. Der axiale Abstand zwischen dem Spiegel 17 und der paraxialen Lage des Zwischenbild 11 ist gleich dem axialen Abstand zwischen dem Spiegel 17 und dem Spiegel 13 und beträgt 68.8mm. Das Verhältnis vom Durchmesser des konkaven Spiegels 17 zum Durchmesser des konvexen Spiegels 13 beträgt 3.0:1. Der freie optische Arbeitsabstand zwischen der ersten Feldebene 7 und dem Spiegel 17 beträgt 1580mm, wenn man für den Spiegel 17 eine Substratdicke auf der optischen Achse von 35.2mm annimmt.

Das zweite Teilobjektiv 5 bildet das Zwischenbild 11 auf die zweite Feldebene 9 mit einem Abbildungsverhältnis von 1.35:1 ab. Es besteht aus dem konkaven Spiegel 21 mit der zentralen Spiegelöffnung 23 und dem konkaven Spiegel 25 mit der zentralen Spiegelöffnung 27. Der Spiegel 21 ist dabei nahe bei der zweiten Feldebene 9 angeordnet und weist einen axialen Abstand von 40.0mm zu dieser Ebene auf. Der Spiegel 21 weist einen Durchmesser von 315.8mm auf. Deshalb sollte er mindestens auf der optischen Achse OA eine Substratdicke von 9.5mm aufweisen. Die Substratdicke des Spiegels 21 auf der optischen Achse beträgt 30mm. Die Differenz zwischen der Substratdicke und dem axialen Abstand des Spiegels 21 zur zweiten Feldebene 9 gibt den freien optischen

Arbeitsabstand an, der im ersten Ausführungsbeispiel 10.0mm beträgt. Andererseits ist der Spiegel 21 so nah an der zweiten Feldebene 9 angeordnet, daß bei einer numerischen Apertur $NA=0.7$ in der zweiten Feldebene 9 die Spiegelobskuration nur 0.3 beträgt. Die Spiegelobskuration ist dabei durch das Verhältnis von Durchmesser der Spiegelöffnung 23

- 5 zum Durchmesser des Spiegels 21 gegeben. Damit der konkave Spiegel 25 die Aperturobskuration nicht verschlechtert, ist er in der Nähe des konvexen Spiegels 13, beziehungsweise des Zwischenbildes 11 angeordnet. Der axiale Abstand zwischen dem konkaven Spiegel 25 und dem konvexen Spiegel 310 beträgt 71.3mm:
- 10 Zwischen dem konkaven Spiegel 21 und dem konkaven Spiegel 25 befindet sich die Blendenebene 29 und die Abschattungseinrichtung 31, welche als Strahlfallc ausgelegt ist. Der Durchmesser der Abschattungseinrichtung 31 ist derart festgelegt, daß die in der zweiten Feldebene 9 auftreffenden Strahlbüschel eine nahezu feldunabhängige Aperturobskuration aufweisen. Wird in der Blendenebene 29 eine mechanische Blende mit
- 15 variablem Durchmesser angeordnet, so können sich die Blendenlamellen auf einer durchgebogenen Oberfläche gemäß der Durchbiegung der Blendenebene bewegen. Möglich ist auch, mehrere ebene mechanische Blenden mit variablem Durchmesser vorzusehen, welche axial versetzt abgeordnet sind. Durch den oberen und unteren Rand der Blendenebene 29 gehen die Randstrahlen 37 und 39, welche von den beiden Feldpunkten
- 20 33 und 35 in der ersten Feldebene 7 ausgehen. Der Feldpunkt 33 befindet sich dabei auf der optischen Achse OA, der Feldpunkt 35 am oberen Rand des Feldes in einem Abstand von 100mm zur optischen Achse OA. Für den Feldpunkt 33 sind noch die Strahlen 41 eingezeichnet, welche durch die Spiegelöffnungen gerade nicht mehr vignettiert werden. Sie weisen in der zweiten Feldebene 9 einen Aperturwinkel von 18.4° auf, so daß die
- 25 Aperturobskuration 0.45 beträgt. Das Verhältnis von der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene zu der Aperturobskuration beträgt somit 1.56. Für die Aperturobskuration limitierend ist im ersten Ausführungsbeispiel die Spiegelöffnung 19 des konkaven Spiegels 17.

Mit der negativen optischen Wirkung des konvexen Spiegels 13 konnte im ersten Ausführungsbeispiel die Bildfeldkrümmung weitgehend korrigiert werden. Der Petzval-Radius beträgt 192137mm.

- 5 Die sphärische Aberration dritter Ordnung konnte im ersten Ausführungsbeispiel auf einen Wert von 0.6µm korrigiert werden.

In Figur 2A ist ein zweites Ausführungsbeispiel für ein Objektiv 201 gemäß der Erfindung dargestellt. Zur besseren Darstellung zeigt Figur 2B einen Ausschnitt aus Figur 2A. Die optischen Daten für das zweite Ausführungsbeispiel sind in Tabelle 2 im Format des Optik-Design-Programms CodeV angegeben. Die den Elementen von Figur 1A/B entsprechenden Elemente in Figur 2A/B haben die gleichen Bezugszeichen wie in Figur 1A/B vermehrt um die Zahl 200. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu Figur 1A/B verwiesen.

15

Das Objektiv 201 besteht aus dem ersten Teilobjektiv 203 und dem zweiten Teilobjektiv 205, welche zentriert um die optische Achse OA angeordnet sind. Das Objektiv 201 bildet die erste Feldebene 207 mit einem Abbildungsverhältnis von 100:1 auf die zweite Feldebene 209 ab. Die numerische Apertur NA in der zweiten Feldebene 209 beträgt 0.9.

20

Der Durchmesser des Feldes in der zweiten Feldebene 209 beträgt 2 mm. Der axiale Abstand zwischen der ersten Feldebene 207 und der zweiten Feldebene 209 beträgt 2000mm.

25

Das erste Teilobjektiv 203 bildet die erste Feldebene 207 mit einem Abbildungsverhältnis von 52:1 auf das Zwischenbild 211 ab. Es besteht aus dem konvexen Spiegel 213 mit der zentralen Spiegelöffnung 215 und dem konkaven Spiegel 217 mit der zentralen Spiegelöffnung 219. Die optische Wirkung des konkaven Spiegels 217 ist derart ausgelegt, daß das Zwischenbild 211 in der Nähe des konvexen Spiegel 213 erzeugt wird. Der axiale Abstand zwischen dem Spiegel 217 und der paraxialen Lage des Zwischenbildes 211 ist gleich dem axialen Abstand zwischen dem Spiegel 217 und dem Spiegel 213 und beträgt 447.5mm. Das Verhältnis vom Durchmesser des konkaven Spiegels 217 zum Durchmesser

30

des konvexen Spiegels 213 beträgt 14.4:1. Der freie optische Arbeitsabstand zwischen der ersten Feldebene 207 und dem Spiegel 217 beträgt 1050mm, wenn man für den Spiegel 217 eine Substratdicke auf der optischen Achse OA von 36.4mm annimmt.

- 5 Das zweite Teilobjektiv 205 bildet das Zwischenbild 211 auf die zweite Feldebene 209 mit einem Abbildungsverhältnis von 1.9:1 ab. Die Abbildung erfolgt dabei über eine Zwischenabbildung des Zwischenbildes 211 auf das weitere Zwischenbild 243. Das Zwischenbild 211 wird von dem konkaven Spiegel 245 mit der zentralen Spiegelöffnung 247 und dem konkaven Spiegel 249 mit der zentralen Spiegelöffnung 251 auf das weitere
- 10 Zwischenbild 243 abgebildet, welches wiederum von dem konkaven Spiegel 221 mit der zentralen Spiegelöffnung 223 und dem konkaven Spiegel 225 mit der zentralen Spiegelöffnung 227 auf die zweite Feldebene 209 abgebildet wird. Mit dieser weiteren Zwischenabbildung ist es möglich, die numerische Apertur in den Feldebenen stufenweise zu erhöhen, so daß letztendlich in der zweiten Feldebene 209 eine numerische Apertur von
- 15 0.9 erreicht werden konnte.

- Um die Aperturobskuration möglichst gering zuhalten, sind die Spiegel im zweiten Teilobjektiv 205 geometrisch jeweils in der Nähe von Feldebene angeordnet. Die optische Wirkung des konkaven Spiegels 249 ist derart ausgelegt, daß das weitere Zwischenbild 243
- 20 in der Nähe des konkaven Spiegels 245 erzeugt wird. Der axiale Abstand zwischen dem Spiegel 249 und der paraxialen Lage des weiteren Zwischenbildes 243 ist gleich dem axialen Abstandes zwischen dem Spiegel 249 und dem Spiegel 245 und beträgt 60.6mm.

- Um die Aperturobskuration so niedrig wie möglich zu halten, sind die konkaven Spiegel
- 25 249 und 225 in der Nähe des Zwischenbildes 211, beziehungsweise des weiteren Zwischenbildes 243 angeordnet. Der axiale Abstand zwischen dem konkaven Spiegel 249 und dem Zwischenbild 211 beträgt 50,0mm, zwischen dem konkaven Spiegel 225 und dem weiteren Zwischenbild 243 ebenfalls 50,0mm. Diese axialen Abstände entsprechen jeweils auch den axialen Abständen zu dem Spiegel 213, beziehungsweise zu dem Spiegel 245.
- 30 Die axialen Abstände sind so groß gewählt, um die benachbart angeordneten Spiegel 213 und 249, beziehungsweise 245 und 225 unter Berücksichtigung der jeweiligen

Substratdicke mit einem axialen Abstand der Spiegelfrückflächen anordnen zu können. Die Substratrückfläche des Spiegels 245 weist keine Planfläche auf. Damit die durch die Spiegelöffnung 247 tretenden Strahlen am Substrat nicht vignettiert werden, weist die Rückfläche zur zentralen Spiegelöffnung 247 hin eine kegelstumpfförmige Einbuchtung auf.

Der Spiegel 221 ist dabei nahe bei der zweiten Feldebene 209 angeordnet und weist einen axialen Abstand von 40,0mm zu diese Ebene auf. Der Spiegel 221 weist einen Durchmesser von 748,2mm auf. Deshalb sollte er mindestens auf der optischen Achse OA eine Substratdicke von 22,4mm aufweisen. Die Substratdicke des Spiegels 21 auf der optischen Achse beträgt 34mm. Die Differenz zwischen der Substratdicke und dem axialen Abstand des Spiegels 221 zur zweiten Feldebene 209 gibt den freien optischen Arbeitsabstand an, der im zweiten Ausführungsbeispiel 6,0mm beträgt. Andererseits ist der Spiegel 221 so nah an der zweiten Feldebene 209 angeordnet, daß bei einer numerischen Apertur $NA=0.9$ in der zweiten Feldebene 209 die Spiegelobskuration nur 0,27 beträgt.

Zwischen dem konkaven Spiegel 221 und dem konkaven Spiegel 225 befindet sich die Blendenebene 229 mit der Abschattungseinrichtung 231. Durch den oberen und unteren Rand der Blendenebene 229 gehen die Randstrahlen 237 und 239, welche von den beiden Feldpunkten 233 und 235 in der ersten Feldebene 207 ausgehen. Der Feldpunkt 233 befindet sich dabei auf der optischen Achse OA, der Feldpunkt 235 am oberen Rand des Feldes in einem Abstand von 100mm zur optischen Achse OA. Die Aperturobskuration beträgt im zweiten Ausführungsbeispiel 0,43. Das Verhältnis von der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene zu der Aperturobskuration beträgt somit 2,09. Für die Aperturobskuration limitierend ist im zweiten Ausführungsbeispiel die Spiegelöffnung 251 des konkaven Spiegels 249.

Mit der negativen optischen Wirkung des konvexen Spiegels 213 konnte im zweiten Ausführungsbeispiel die Bildfeldkrümmung weitgehend korrigiert werden. Der Petzval-Radius beträgt 8940mm.

Die sphärische Aberration dritter Ordnung konnte im zweiten Ausführungsbeispiel auf einen Wert von $0.8\mu\text{m}$ korrigiert werden.

5 In Figur 3A ist ein drittes Ausführungsbeispiel für ein Objektiv 301 gemäß der Erfindung dargestellt. Zur besseren Darstellung zeigt Figur 3B einen Ausschnitt aus Figur 3A. Die optischen Daten für das dritte Ausführungsbeispiel sind in Tabelle 3 im Format des Optik-Design-Programms CodeV angegeben. Die den Elementen von Figur 2A/B entsprechenden Elemente in Figur 3A/B haben die gleichen Bezugszeichen wie in Figur 2A/B vermehrt um die Zahl 100. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu Figur 10 2A/B verwiesen.

Das Objektiv 301 besteht aus dem ersten Teilobjektiv 303 und dem zweiten Teilobjektiv 305, welche zentriert um die optische Achse OA angeordnet sind. Das Objektiv 301 bildet die erste Feldebene 307 mit einem Abbildungsverhältnis von 100:1 auf die zweite 15 Feldebene 309 ab. Die numerische Apertur NA in der zweiten Feldebene 309 beträgt 0.9. Der Durchmesser des Feldes in der zweiten Feldebene 309 beträgt 2 mm. Der axiale Abstand zwischen der ersten Feldebene 307 und der zweiten Feldebene 309 beträgt 2389mm.

20 Das erste Teilobjektiv 303 bildet die erste Feldebene 307 mit einem Abbildungsverhältnis von 66:1 auf das Zwischenbild 311 ab. Es besteht aus dem konvexen Spiegel 313 mit der zentralen Spiegelöffnung 315 und dem konkaven Spiegel 317 mit der zentralen Spiegelöffnung 319. Die optische Wirkung des konkaven Spiegels 317 ist derart ausgelegt, daß das Zwischenbild 311 in der Nähe des konvexen Spiegels 313 erzeugt wird. Der axiale 25 Abstand zwischen dem Spiegel 317 und der paraxialen Lage des Zwischenbild 311 ist gleich dem axialen Abstand zwischen dem Spiegel 317 und dem Spiegel 313 und beträgt 450.8mm. Das Verhältnis vom Durchmesser des konkaven Spiegels 317 zum Durchmesser des konvexen Spiegels 313 beträgt 14.9:1. Der freie optische Arbeitsabstand zwischen der ersten Feldebene 307 und dem Spiegel 317 beträgt 1470mm, wenn man für den Spiegel 30 317 eine Substratdicke auf der optischen Achse OA von 33.3mm annimmt.

Das zweite Teilobjektiv 305 bildet das Zwischenbild 311 auf die zweite Feldebene 309 mit einem Abbildungsverhältnis von 1.5:1 ab. Die Abbildung erfolgt dabei über eine Zwischenabbildung des Zwischenbildes 311 auf das weitere Zwischenbild 343. Das Zwischenbild 311 wird von dem konkaven Spiegel 345 mit der zentralen Spiegelöffnung 347 und dem konkaven Spiegel 349 mit der zentralen Spiegelöffnung 351 auf das weitere Zwischenbild 343 abgebildet, welches wiederum von dem konkaven Spiegel 321 mit der zentralen Spiegelöffnung 323 und dem konkaven Spiegel 325 mit der zentralen Spiegelöffnung 327 auf die zweite Feldebene 309 abgebildet wird.

Die Spiegel im zweiten Teilobjektiv 305 sind jeweils in der Nähe von Feldebene angeordnet. Die optische Wirkung des konkaven Spiegels 349 ist derart ausgelegt, daß das weitere Zwischenbild 343 in der Nähe des konkaven Spiegels 345 erzeugt wird. Der axiale Abstand zwischen dem Spiegel 349 und der paraxialen Lage des weiteren Zwischenbildes 343 ist gleich dem axialen Abstandes zwischen dem Spiegel 349 und dem Spiegel 345 und beträgt 68.9mm.

Die konkaven Spiegel 349 und 325 sind in der Nähe des Zwischenbildes 311, beziehungsweise des weiteren Zwischenbildes 343 angeordnet. Der axiale Abstand zwischen dem konkaven Spiegel 349 und dem Zwischenbild 311 beträgt 18.9mm, zwischen dem konkaven Spiegel 325 und dem weiteren Zwischenbild 343 37.5mm. Diese axialen Abstände entsprechen jeweils auch den axialen Abständen zu dem Spiegel 313, beziehungsweise zu dem Spiegel 345. Im dritten Ausführungsbeispiel sind die axialen Abstände zwischen den Spiegeln 311 und 349, beziehungsweise zwischen den Spiegeln 345 und 325 kleiner als die Summe der jeweiligen Spiegelsubstrate. Somit befindet sich im Gegensatz zum zweiten Ausführungsbeispiel der Spiegel 311 in der Spiegelöffnung 351 des Spiegels 349, beziehungsweise der Spiegel 345 in der Spiegelöffnung 327 des Spiegels 325. Während im zweiten Ausführungsbeispiel der Spiegel 249 die Aperturobskuration bestimmte, ist der entsprechende Spiegel 349 im dritten Ausführungsbeispiel nicht mehr kritisch. Die Substratrückflächen der Spiegel 313, 349 und 345 sind nicht plan. Damit die durch die Spiegelöffnungen tretenden Strahlen an den Spiegelsubstraten nicht vignettiert

werden, weisen die Rückflächen zu den zentralen Spiegelöffnungen hin
kegelstumpfförmige Einbuchtungen auf.

Der Spiegel 321 ist nahe bei der zweiten Feldebene 309 angeordnet und weist einen axialen
5 Abstand von 40,0mm zu dieser Ebene auf. Der Spiegel 321 weist einen Durchmesser von
760,7mm auf. Deshalb sollte er auf der optischen Achse OA mindestens eine Substratdicke
von 22,8mm aufweisen. Die Substratdicke des Spiegels 21 auf der optischen Achse beträgt
35mm. Die Differenz zwischen der Substratdicke und dem axialen Abstand des Spiegels
321 zur zweiten Feldebene 309 gibt den freien optischen Arbeitsabstand an, der im ersten
10 Ausführungsbeispiel 5,0mm beträgt. Andererseits ist der Spiegel 321 so nah an der zweiten
Feldebene 309 angeordnet, daß bei einer numerischen Apertur $NA=0.9$ in der zweiten
Feldebene 309 die Spiegelobskuration des Spiegels 321 nur 0,26 beträgt.

Zwischen dem konkaven Spiegel 321 und dem konkaven Spiegel 325 befindet sich die
15 Blendenebene 329 mit der Abschattungseinrichtung 331. Durch den oberen und unteren
Rand der Blendenebene 329 gehen die Randstrahlen 337 und 339, welche von den beiden
Feldpunkten 333 und 335 in der ersten Feldebene 307 ausgehen. Der Feldpunkt 333
befindet sich dabei auf der optischen Achse OA, der Feldpunkt 335 am oberen Rand des
Feldes in einem Abstand von 100mm zur optischen Achse OA. Die Aperturobskuration
20 beträgt im zweiten Ausführungsbeispiel 0,39. Das Verhältnis von der numerischen Apertur
in der zweiten Feldebene zu der Aperturobskuration beträgt somit 2,31. Für die
Aperturobskuration limitierend ist im dritten Ausführungsbeispiel die Spiegelöffnung 327
des konkaven Spiegels 325.

25 Mit der negativen optischen Wirkung des konvexen Spiegels 313 konnte im dritten
Ausführungsbeispiel die Bildfeldkrümmung weitgehend korrigiert werden. Der Petzval-
Radius beträgt 76472mm.

Die sphärische Aberration dritter Ordnung konnte im dritten Ausführungsbeispiel auf einen
30 Wert von $0.3\mu\text{m}$ korrigiert werden.

In Figur 4 ist eine Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage 453 für die EUV-Lithographie schematisch dargestellt. Als Lichtquelle dient eine Laser induzierte Plasma-Quelle 459. Dabei wird mit einem Pumplaser 457 beispielsweise ein Xenon-Target zur Emission von EUV-Strahlung angeregt. Das Beleuchtungssystem 455 umfaßt den Kollektorspiegel 461, die Homogenisierung- und Feldformungs-Einheit 463 und den Feldspiegel 465. Derartige Beleuchtungssysteme werden beispielsweise in der US 6,198,793 (DE 199 03 807) der Anmelderin beschrieben, deren Inhalt vollumfänglich in diese Anmeldung mit aufgenommen wird. Das Beleuchtungssystem 455 beleuchtet ein begrenztes Feld auf dem Mikrospiegel-Array 467, welches auf der Halte- und Positionier-Einheit 469 angeordnet ist. Das Mikrospiegel-Array 467 weist 1000x1000 separat ansteuerebare Spiegel der Größe $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ auf. Berücksichtigt man zwischen den Mikrospiegeln einen Mindestabstand von $0,5\mu\text{m}$, so sollte das Beleuchtungssystem 455 ein quadratisches Feld der Größe $10,5\text{mm} \times 10,5\text{mm}$ beleuchten. Das Mikrospiegel-Array 467 befindet sich in der Objektebene eines Projektionsobjektivs 401, welches das beleuchtete Feld auf ein lichtempfindliches Substrat 471 abbildet. Das lichtempfindliche Substrat 471 ist dabei auf der Halte- und Positionier-Einheit 473 angeordnet, welche auch das Scannen des Mikrospiegel-Arrays 467 zuläßt. Als Projektionsobjektiv 401 kann eines der in den Figuren 1 bis 3 dargestellten Ausführungsbeispiele verwendet werden. Das Mikrospiegel-Array 467 ist dabei in der ersten Feldebene, das lichtempfindliche Substrat 471 in der zweiten Feldebene angeordnet. Damit der Feldspiegel 465 den abbildenden Strahlengang nicht vignettiert, muss der Feldspiegel 465 in einem ausreichend großen Abstand zum Mikrospiegel-Array 467 angeordnet sein. Dies erfordert andererseits, daß das beleuchtete Feld nicht zentriert zur optischen Achse OA, sondern außerhalb der optischen Achse angeordnet ist. Da jedoch die Objektfelder der gezeigten Ausführungsbeispiele einen Durchmesser von 200mm aufweisen, kann das beleuchtete Feld beispielsweise in einem Abstand von 70mm zur optischen Achse OA angeordnet sein. Die einzelnen Mikrospiegel des Mikrospiegel-Arrays 467 werden mit einem Abbildungsverhältnis von 100:1 auf das lichtempfindliche Substrat 471 abgebildet, so daß die Bilder der Mikrospiegel eine Größe von 100nm aufweisen. Auf einem Bildfeld der Größe $105\mu\text{m} \times 105\mu\text{m}$ können somit Strukturen mit einer Auflösung von ca. 100nm erzeugt werden, da die Abbildung des Projektionsobjektivs 401 beugungsbegrenzt ist. Durch schrittweises Verschieben und/oder

Scannen des lichtempfindlichen Substrats 471 mit der Halte-und Positionier-Einheit 473 können auch Felder mit Abmessungen von mehreren Millimetern belichtet werden. Die Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage 453 weist auch die Strahlfalle 475 auf. Diese absorbiert die Lichtstrahlen derjenigen Strahlbüschel, welche von den Mikrospiegeln nicht in die Eintrittspupille des Projektionsobjektiv 401 gezielt werden. Mit der Computer-und Steuereinheit 477 werden der Pumplaser 457, das Beleuchtungssystem 455 zur Variation der Pupillenausleuchtung, das ansteuerbare Mikrospiegel-Array 467 und die Halte-und Positionier-Einheiten 473 und 469 gesteuert.

In Figur 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage 553 dargestellt. An Stelle des ansteuerbaren Mikrospiegel-Arrays 467 weist die Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage 553 ein reflektives Retikel 579 auf. Die den Elementen von Figur 4 entsprechenden Elemente in Figur 5 haben die gleichen Bezugszeichen wie in Figur 4 vermehrt um die Zahl 100. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu Figur 4 verwiesen. Da die Strukturen auf dem reflektiven Retikel 579 Abmessungen kleiner als $1\mu\text{m}$ aufweisen können, lassen sich auf dem lichtempfindlichen Substrat 571 Strukturen mit Auflösungen kleiner als ca. 10nm herstellen, da die Abbildung des Projektionsobjektivs 501 beugungsbegrenzt ist.

20

In Figur 6 ist eine Inspektionssystem 681 zum Beobachten von Wafer-Oberflächen schematisch dargestellt. Als Lichtquelle dient ein Excimer-Laser 685, der Licht mit einer Wellenlänge von 157nm erzeugt. Das Beleuchtungssystem 683 umfaßt die Homogenisierungs- und Feldformungs-Einheit 687 und den Strahlteiler 689, beispielsweise einen teildurchlässigen Spiegel. Mit dem Strahlteiler 689 wird das Beleuchtungslicht in das Inspektionsobjektiv 601 eingekoppelt, welches die Oberfläche des zu analysierenden Objektes 691 auf die Eintrittsfläche 693 einer Beobachtungseinheit 695 abbildet. Das Objekt 691 ist dabei auf einem Objektisch 697 angeordnet, welcher die Verschiebung und die Rotation des Objektes 691 zuläßt. Als Inspektionsobjektiv 601 kann eines der in den Figuren 1 bis 3 dargestellten Ausführungsbeispiele verwendet werden. Das Objekt 691 ist dabei in der zweiten Feldebene, die Eintrittsfläche 693 in der ersten Feldebene angeordnet.

30

Mit dem Inspektionsobjektiv 601 läßt sich beispielsweise eine Oberfläche der Größe 500µm x 500µm analysieren. Das Bild dieses Objektfeldes weist dann auf der Eintrittsfläche 693 der Beobachtungseinheit 695 eine Abmessung von 50mm x 50mm auf. Mit der Computer-und Steuereinheit 699 werden die Lichtquelle 685, das Beleuchtungssystem 687 zur Variation der Pupillenausleuchtung und der Objektisch 697 gesteuert und die Meßdaten aus der Beobachtungseinheit 695 ausgewertet. Ein Inspektionsobjektiv gemäß den Ausführungsbeispielen 1 bis 3 zu verwenden, hat den Vorteil, daß das Inspektionsobjektiv durch eine entsprechende Beschichtung der Spiegel auf jede Wellenlänge, beziehungsweise auf einen breiten Wellenlängenbereich angepaßt werden kann. Insbesondere kann das Inspektionsobjektiv auch bei EUV-Wellenlängen kleiner 20nm eingesetzt werden.

Tabelle 1

FABRICATION DATA

ELEMENT NUMBER	RADIUS OF CURVATURE		THICKNESS	APERTURE DIAMETER		CLASS
	FRONT	BACK		FRONT	BACK	
5						
10	OBJECT	INF	1684.0346			
	1 (13)	A(1)	-63.8152	C-1		REFL
	2 (17)	A(2)	344.7808	C-2		REFL
	3 (21)	A(3)	-62.6453	C-3		REFL
15			APERTURE STOP	336.9374		
			-142.0994			
	4 (25)	A(4)	204.7447	C-4		REFL
				80.2169		
20	IMAGE DISTANCE =		39.9998			
	IMAGE	INF		2.0029		
APERTURE DATA						
APERTURE	SHAPE	DIAMETER		DECENTER		ROTATION
		X	Y	X	Y	
25	C-1	CIRCLE	25.069			
		CIRCLE	6.000	6.000		
30	C-2	CIRCLE	76.190			
		CIRCLE	34.000	34.000		
	C-3	CIRCLE	315.840			
		CIRCLE	90.000	90.000		
35	C-4	CIRCLE	388.014			
		CIRCLE	100.900	100.900		

ASPHERIC CONSTANTS

$$Z = \frac{(CURV)^2}{1 + (1 + K)(CURV)^2} + (A)Y^4 - (B)Y^6 - (C)Y^8 + (D)Y^{10}$$

$$1 + (1 + K)(CURV)^2 = \frac{2}{2 + 1/2} + (E)Y^{12} - (F)Y^{14} - (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

ASPHERIC	CURV	K	E	A	F	G	H	J
A(1)	0.01632142	0.721123	-1.3241E-06	-7.44173E-10	-1.20959E-13	-1.32841E-16	0.00000E+00	0.00000E+00
A(2)	0.01249319	5.01736E-33	2.59205E-34	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(3)	-0.00163228	0.374720	-1.34649E-07	-2.20636E-11	-3.87070E-15	-5.51394E-19	0.00000E+00	0.00000E+00
A(4)	0.00220115	-7.61820E-23	-4.74274E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
		-8.138119	3.08966E-10	8.83050E-14	1.52159E-20	1.03323E-23	0.00000E+00	0.00000E+00
		-8.43173E-29	2.01064E-33	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
		1.243483	4.66652E-10	-4.05558E-15	4.03013E-20	-5.94690E-25	0.00000E+00	0.00000E+00
		6.74937E-30	-3.83976E-35	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

AT USED CONJUGATES

REDUCTION = -0.0100
 OBJECT DIST = 1684.0346
 TOTAL TRACK = 2000.0003
 IMAGE DIST = 39.9998
 OAL = 275.9656

Tabelle 2

FABRICATION DATA

ELEMENT NUMBER	RADIUS OF CURVATURE		THICKNESS	APERTURE DIAMETER		GLASS
	FRONT	BACK		FRONT	BACK	
5						
10	OBJECT	INF	1333.8845			
	1 (213)	A(1)	-427.4711	C-1		REFL
	2 (217)	A(2)	558.0315	C-2		REFL
	3 (245)	A(3)	-63.5605	C-3		REFL
	4 (249)	A(4)	376.0924	C-4		REFL
	5 (221)	A(5)	-139.5321	C-5		REFL
15	APERTURE STOP			748.0479		
			-135.3000			
20	6 (225)	A(6)	265.5321	C-6		REFL
	IMAGE DISTANCE =		40.0232	166.8325		
	IMAGE	INF		2.0046		

APERTURE DATA

APERTURE	SHAPE	DIAMETER		DECENTER		ROTATION
		X	Y	X	Y	
C-1	CIRCLE	29.950				
	CIRCLE	(OBSC)	6.000			
C-2	CIRCLE	432.760				
	CIRCLE	(OBSC)	90.000			
C-3	CIRCLE	115.248				
	CIRCLE	(OBSC)	10.000			
C-4	CIRCLE	136.401				
	CIRCLE	(OBSC)	60.000			
C-5	CIRCLE	748.249				
	CIRCLE	(OBSC)	200.000			

C- 6 CIRCLE 748.006
CIRCLE (OBSC) 240.000 240.000

ASEHERIC	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	0.01462135	4.236799	0.00000E+00	-2.34672E-10	2.25315E-13	0.00000E+00
A(2)	0.00215389	0.031898	0.00000E+00	1.71983E-16	-4.27637E-21	0.00000E+00
A(3)	-0.00076244	381.118675	0.00000E+00	-2.25582E-12	-7.14313E-16	0.00000E+00
A(4)	0.00849256	0.414914	0.00000E+00	-1.39628E-13	-3.22627E-17	-0.00000E+00
A(5)	-0.00146641	-0.715112	0.00000E+00	-2.04954E-16	-6.04643E-22	0.00000E+00
A(6)	0.00185791	-1.171636	0.00000E+00	-1.34911E-15	-1.97533E-21	0.00000E+00

AT USED CONJUGATES

REDUCTION = 0.0100
OBJECT DIST = 1533.5545
TOTAL TRACK = 2000.0000
IMAGE DIST = 40.0232
OAL = 426.3923

Tabelle 3

FABRICATION DATA

ELEMENT NUMBER	RADIUS OF CURVATURE		THICKNESS	APERTURE DIAMETER		GLASS
	FRONT	BACK		FRONT	BACK	
5	OBJECT	INF	1934.1364			
	1 (313)	A(1)	-450.8028	C-1		REFL
	2 (317)	A(2)	538.6037	C-2		REFL
	3 (345)	A(3)	-68.8878	C-3		REFL
	4 (349)	A(4)	375.9476	C-4		REFL
10	5 (321)	A(5)	-132.5549	C-5		REFL
			APERTURE STOP	759.6775		
			-135.0030			
	6 (325)	A(6)	269.5548	C-6		REFL
				166.7569		
15	IMAGE DISTANCE =		40.0005			
	IMAGE	INF		2.0027		

APERTURE DATA

APERTURE	SHAPE	DIAMETER		DECENTER		ROTATION
		X	Y	X	Y	
C-1	CIRCLE	36.788				
	CIRCLE	4.000	4.000			
C-2	CIRCLE	550.616				
	CIRCLE	80.000	80.000			
C-3	CIRCLE	126.324				
	CIRCLE	4.000	4.000			
C-4	CIRCLE	156.779				
	CIRCLE	40.000	40.000			
C-5	CIRCLE	760.748				
	CIRCLE	200.000	200.000			

31

C- 6 CIRCLE 759.241
CIRCLE 200.000 200.000

5 ASPHERIC CONSTANTS

ASPHERIC	K	X	A	B	C	D
			F	G	H	I
A(1)	0.01453296	3.983966	-1.25979E-07	-2.40984E-10	-2.2273E-13	-1.92806E-16
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E-00	0.00000E+00
A(2)	0.00214496	-0.072178	9.97447E-11	5.5837E-16	2.94983E-21	2.11781E-27
		1.14313E-31	-1.09251E-37	0.00000E+00	0.00000E-00	0.00000E+00
A(3)	-0.00095338	177.846664	-4.21020E-08	3.95468E-12	3.32517E-20	-6.96347E-20
		1.24988E-24	9.3294E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(4)	0.00808626	0.279920	5.46076E-09	3.59983E-13	5.29416E-18	-6.95655E-23
		1.93949E-25	2.44723E-30	0.00000E+00	0.00000E-00	0.00000E+00
A(5)	-0.00151095	-0.696060	0.00000E-00	-3.66210E-16	-3.54668E-22	-1.33788E-27
		-2.47388E-33	-1.25578E-38	0.00000E+00	0.00000E-00	0.00000E+00
A(6)	0.00185048	-1.256318	-1.93114E-11	-1.38066E-15	2.59583E-21	-5.18955E-27
		7.48520E-33	6.54710E-39	0.00000E+00	0.00000E-00	0.00000E+00

AT USED CONJUGATES

REDUCTION = 0.0100
OBJECT DIST = -954.1364
TOTAL TRACK = 2388.9976
IMAGE DIST = 40.0035
OAL = 394.8636

Patentansprüche:

1. Objektiv (1, 201, 301) mit

- 5 einem ersten Teilobjektiv (3, 203, 303), welches eine erste Feldebene (7, 207, 307) auf ein Zwischenbild (11, 211, 311) abbildet und einen ersten konvexen Spiegel (13, 213, 313) mit einer ersten zentralen Spiegelöffnung (15, 215, 315) und einen zweiten konkaven Spiegel (17, 217, 317) mit einer zweiten zentralen Spiegelöffnung (19, 219, 319) umfaßt, wobei der erste Spiegel (13, 213, 313) zum zweiten Spiegel (17, 217, 317) einen ersten axialen Abstand und der zweite Spiegel (17, 217, 317) zum Zwischenbild (11, 211, 311) einen zweiten axialen Abstand aufweist, und wobei das Verhältnis von erstem axialem Abstand zu zweitem axialem Abstand einen Wert zwischen 0.95 und 1.05, insbesondere zwischen 0.98 und 1.02 aufweist, und
- 10 einem zweiten Teilobjektiv (5, 205, 305), welches das Zwischenbild (11, 211, 311) auf eine zweite Feldebene (9, 209, 309) abbildet und einen dritten konkaven Spiegel (21, 221, 321) mit einer dritten zentralen Spiegelöffnung (23, 223, 323) und einen vierten konkaven Spiegel (25, 225, 325) mit einer vierten zentralen Spiegelöffnung (27, 227, 327) umfaßt, wobei der dritte Spiegel (21, 221, 321) zur zweiten Feldebene (9, 209, 309) einen dritten axialen Abstand Z_{M3-IM} aufweist, welcher zu einer numerischen Apertur NA in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) und zu einem Durchmesser Du_{M3} des dritten Spiegels (21, 221, 321) in folgender Beziehung steht:
- 15
- 20

$$0.03 \cdot Du_{M3} + 5.0\text{mm} < Z_{M3-IM} < \frac{0.25 \cdot Du_{M3}}{\tan(\arcsin(NA))},$$

- 25 wobei das Objektiv (1, 201, 301, 401, 501, 601) einen Petzval-Radius aufweist, dessen Betrag größer als der axiale Abstand der ersten Feldebene (7, 207, 307) zur zweiten Feldebene (9, 209, 309) ist.

2. Objektiv (1, 201, 301) nach Anspruch 1, wobei das Objektiv (1, 201, 301, 401, 501, 601) eine Aperturobskuration aufweist, welche als das Verhältnis von dem Sinus des minimalen Aperturwinkels in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) von Strahlen, welche durch die Spiegellöffnungen nicht vignettiert werden, zu der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) definiert ist und einen Wert kleiner als 0.6, insbesondere kleiner als 0.5 aufweist.
3. Objektiv (1, 201, 301) nach Anspruch 2, wobei das Verhältnis von der numerischen Apertur in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) zu der Aperturobskuration größer als 1.2, insbesondere größer als 1.5 ist.
4. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die numerische Apertur in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) größer als 0.3, insbesondere größer als 0.4, besonders bevorzugt größer als 0.6 ist.
5. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Objektiv (1, 201, 301) zwischen der ersten Feldebene (7, 207, 307) und der zweiten Feldebene (9, 209, 309) ein Abbildungsverhältnis von größer als 4:1, insbesondere größer als 10:1, besonders bevorzugt größer als 20:1 aufweist.
6. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Objektiv (1, 201, 301) zwischen der ersten Feldebene (7, 207, 307) und dem Zwischenbild (11, 211, 311) und zwischen dem Zwischenbild (11, 211, 311) und der zweiten Feldebene (9, 209, 309) jeweils ein Abbildungsverhältnis von größer als 1:1, insbesondere größer als 1.1:1 aufweist.
7. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Objektiv (1, 201, 301) zwischen der ersten Feldebene (7, 207, 307) und dem Zwischenbild (11, 211, 311) ein Abbildungsverhältnis von größer als 3:1, insbesondere größer als 5:1, besonders bevorzugt größer als 10:1 aufweist.

8. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Verhältnis von einem Durchmesser des zweiten Spiegels (17, 217, 317) zu einem Durchmesser des ersten Spiegels (13, 213, 313) größer als 3:1, insbesondere größer als 5:1 ist.
- 5
9. Objektiv (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der vierte Spiegel (25) und der erste Spiegel (13) einen axialen Abstand aufweisen, welcher kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene (7) zur zweiten Feldebene (9) ist.
- 10
10. Objektiv (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Objektiv (1) genau vier Spiegel (13, 17, 21, 25) umfaßt.
11. Objektiv (201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Objektiv (201, 301) zwischen dem Zwischenbild (211) und dem dritten Spiegel (221, 321) einen fünften Spiegel (245, 345) mit einer fünften zentralen Spiegelöffnung (247, 347) und einen sechsten Spiegel (249, 349) mit einer sechsten zentralen Spiegelöffnung (251, 351) umfaßt, und wobei zwischen dem sechsten Spiegel (249, 349) und dem dritten Spiegel (221, 321) ein weiteres Zwischenbild (243, 343) angeordnet ist.
- 15
12. Objektiv (201, 301) nach Anspruch 11, wobei der fünfte Spiegel (245, 345) ein konkaver Spiegel und der sechste Spiegel (249, 349) ein konkaver Spiegel ist.
- 20
13. Objektiv (201, 301) nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei der axiale Abstand des weiteren Zwischenbildes (243, 343) vom fünften Spiegel (245, 345) kleiner als 5% des axialen Abstandes der ersten Feldebene (207, 307) zur zweiten Feldebene (209, 309) ist.
- 25
14. Objektiv (201, 301) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei der sechste Spiegel (249, 349) und der erste Spiegel (213, 313) einen axialen Abstand aufweisen, welcher

kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene (207, 307) zur zweiten Feldebene (209, 309) ist.

- 5 15. Objektiv (201, 301) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei der fünfte Spiegel (245, 345) und der vierte Spiegel 225, 325) einen axialen Abstand aufweisen, welcher kleiner als 10% des axialen Abstandes der ersten Feldebene (207, 307) zur zweiten Feldebene (209, 309) ist.
- 10 16. Objektiv (201, 301) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei das Objektiv (201, 301) genau sechs Spiegel (213, 217, 221, 225, 245, 249, 313, 317, 321, 325, 345, 349) umfaßt.
- 15 17. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei das Objektiv einen freien Arbeitsabstand FWD_{Obj} zwischen der ersten Feldebene (7, 207, 307) und dem ersten Teilobjektiv (3, 203, 303) aufweist, welcher größer als 20% des axialen Abstandes der ersten Feldebene (7, 207, 307) zur zweiten Feldebene (9, 209, 309) ist.
- 20 18. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei das Objektiv (1, 201, 301) in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) ein korrigiertes Feld mit einem Durchmesser größer als 1.0mm aufweist.
- 25 19. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei das Objektiv (1, 201, 301) in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) eine sphärische Aberration aufweist, und das Verhältnis der sphärischen Aberration zum axialen Abstand der ersten Feldebene (7, 207, 307) zur zweiten Feldebene (9, 209, 309) kleiner als 10^{-5} ist.
- 30 20. Objektiv (1, 201, 301) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei der axiale Abstand der ersten Feldebene (7, 207, 307) von der zweiten Feldebene (9, 209, 309) maximal 3000mm beträgt.

21. Objektiv (1, 201, 301, 401, 501) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, insbesondere Projektionsobjektiv für die Lithographie, wobei das Objektiv (1, 201, 301, 401, 501) ein Objekt in der ersten Feldebene (7, 207, 307) verkleinert auf ein Bild in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) abbildet.
- 5
22. Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage (553) mit einem Beleuchtungssystem (555) und einem Objektiv (501) nach Anspruch 21, welches eine Struktur tragende Maske (579) auf ein lichtempfindliches Substrat (571) abbildet.
- 10
23. Verfahren zum Belichten von lichtempfindlichen Substraten (571) mit einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage (553) nach Anspruch 22, wobei von dem Beleuchtungssystem (555) die Struktur tragende Maske (579) mit einem Strahlenbüschel beleuchtet wird, wobei das von der Maske (579) strukturierte Strahlenbüschel von dem Objektiv (501) auf das lichtempfindliche Substrat (571)
- 15
- abgebildet wird und wobei dadurch das Substrat (571) belichtet wird.
24. Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage (453) mit einem Beleuchtungssystem (455) und einem Objektiv (401) nach Anspruch 21, welches ein ansteuerbares Mikrospiegel-Array (467) auf ein lichtempfindliches Substrat (471) abbildet.
- 20
25. Verfahren zum Belichten von lichtempfindlichen Substraten (471) mit einer Lithographie-Projektionsbelichtungsanlage (453) nach Anspruch 24, wobei von dem Beleuchtungssystem (455) das ansteuerbare Mikrospiegel-Array (467) beleuchtet wird,
- 25
- wobei an den Mikrospiegeln des Mikrospiegel-Arrays (467) Strahlbüschel reflektiert werden,
- wobei von einer Steuereinheit (477) die Mikrospiegel des Mikrospiegel-Arrays (467) gemäß einem vorgegebenen Muster derart angesteuert werden, daß nur ein Teil der Strahlbüschel durch das Objektiv (401) auf das lichtempfindliche Substrat (471)
- 30
- gelangen, und

wobei das lichtempfindliche Substrat (471) von den übertragenen Strahlenbündeln gemäß dem vorgegebenen Muster belichtet wird.

- 5 26. Objektiv (1, 201, 301, 601) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, insbesondere Inspektionsobjektiv, wobei das Objektiv (1, 201, 301, 601) ein Objekt in der zweiten Feldebene (9, 209, 309) vergrößert auf ein Bild in der ersten Feldebene (7, 207, 307) abbildet.
- 10 27. Inspektionssystem (681) zum Beobachten einer Oberfläche, insbesondere einer Waferoberfläche, mit einem Beleuchtungssystem (683) und einem Objektiv (601) nach Anspruch 26, welches die Oberfläche eines in der zweiten Feldebene angeordneten Objekts (691) auf eine in der ersten Feldebene angeordnete Eintrittsfläche (693) einer Beobachtungseinheit (695) abbildet.
- 15 28. Verfahren zum Beobachten einer Oberfläche mit einem Inspektionssystem (681) nach Anspruch 27, wobei von dem Beleuchtungssystem (683) die Oberfläche eines Objekts (691), insbesondere die Oberfläche eines Wafers, mit einem Strahlenbündel beleuchtet wird, wobei das Strahlenbündel durch Strukturen auf der Oberfläche ortsabhängig in
- 20 verschiedene Richtungen gebeugt wird, wobei das Strahlenbündel von dem Objektiv (601) auf die Eintrittsfläche (693) der Beobachtungseinheit (695) abgebildet wird.

Zusammenfassung:

Objektiv mit Pupillenobskuration

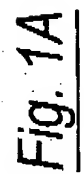
(Fig. 1A)

Objektiv (1) mit

einem ersten Teilobjektiv (3), welches eine erste Feldebene (7) auf ein Zwischenbild (11) abbildet und einen ersten konvexen Spiegel (13) mit einer ersten zentralen Spiegelöffnung (15) und einen zweiten konkaven Spiegel (17) mit einer zweiten zentralen Spiegelöffnung (19) umfaßt, wobei der erste Spiegel (13) zum zweiten Spiegel (17) einen ersten axialen Abstand und der zweite Spiegel (17) zum Zwischenbild (11) einen zweiten axialen Abstand aufweist, und wobei das Verhältnis von erstem axialem Abstand zu zweitem axialem Abstand einen Wert zwischen 0,95 und 1,05, insbesondere zwischen 0,98 und 1,02 aufweist, und einem zweiten Teilobjektiv (5), welches das Zwischenbild (11) auf eine zweite Feldebene (9) abbildet und einen dritten konkaven Spiegel (21) mit einer dritten zentralen Spiegelöffnung (23) und einen vierten konkaven Spiegel (25) mit einer vierten zentralen Spiegelöffnung (27) umfaßt, wobei der dritte Spiegel (21) zur zweiten Feldebene (9) einen dritten axialen Abstand Z_{M3-IM} aufweist, welcher zu einer numerischen Apertur NA in der zweiten Feldebene (9) und zu einem Durchmesser Du_{M3} des dritten Spiegels (21) in folgender Beziehung steht:

$$0,03 \cdot Du_{M3} + 5,0 \text{ mm} < Z_{M3-IM} < \frac{0,25 \cdot Du_{M3}}{\tan(\arcsin(NA))},$$

wobei das Objektiv (1) einen Petzval-Radius aufweist, dessen Betrag größer als der axiale Abstand der ersten Feldebene (7) zur zweiten Feldebene (9) ist.



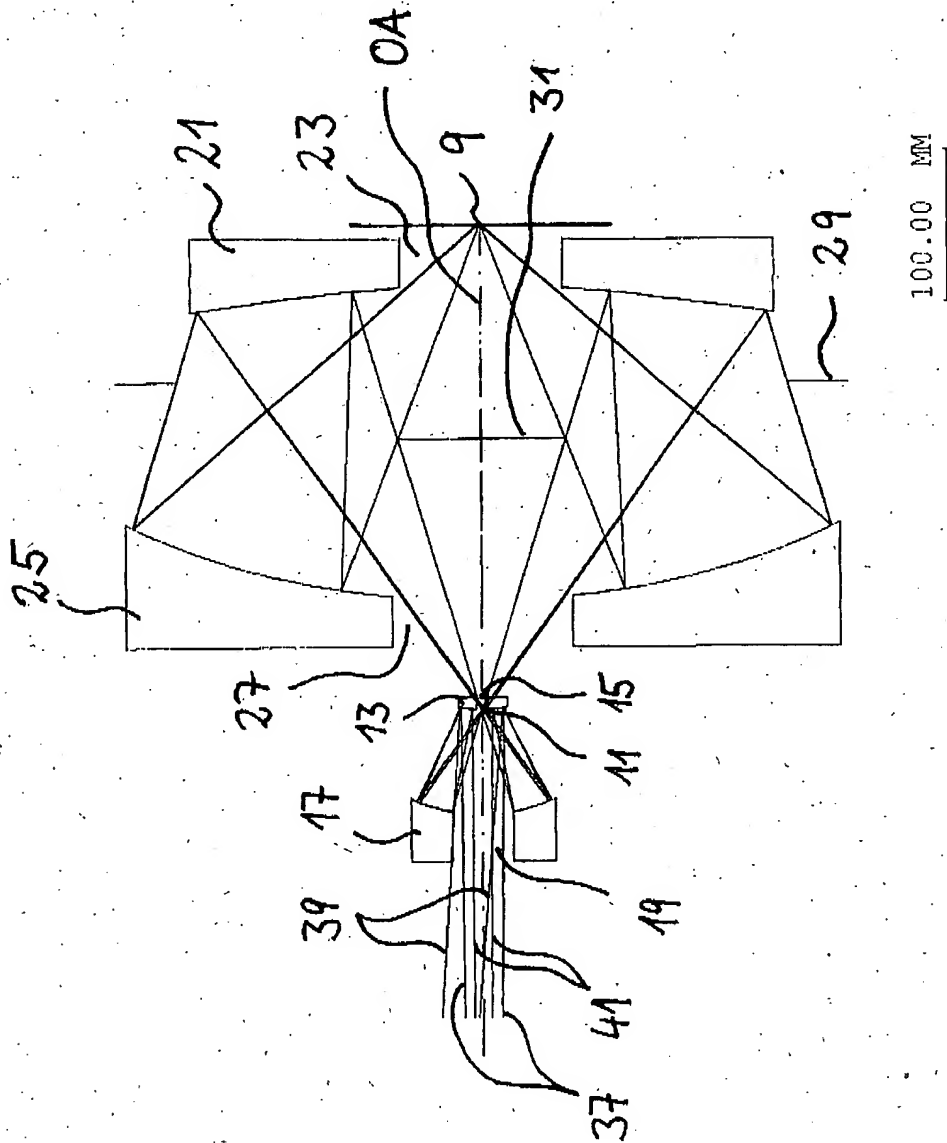


Fig. 1B

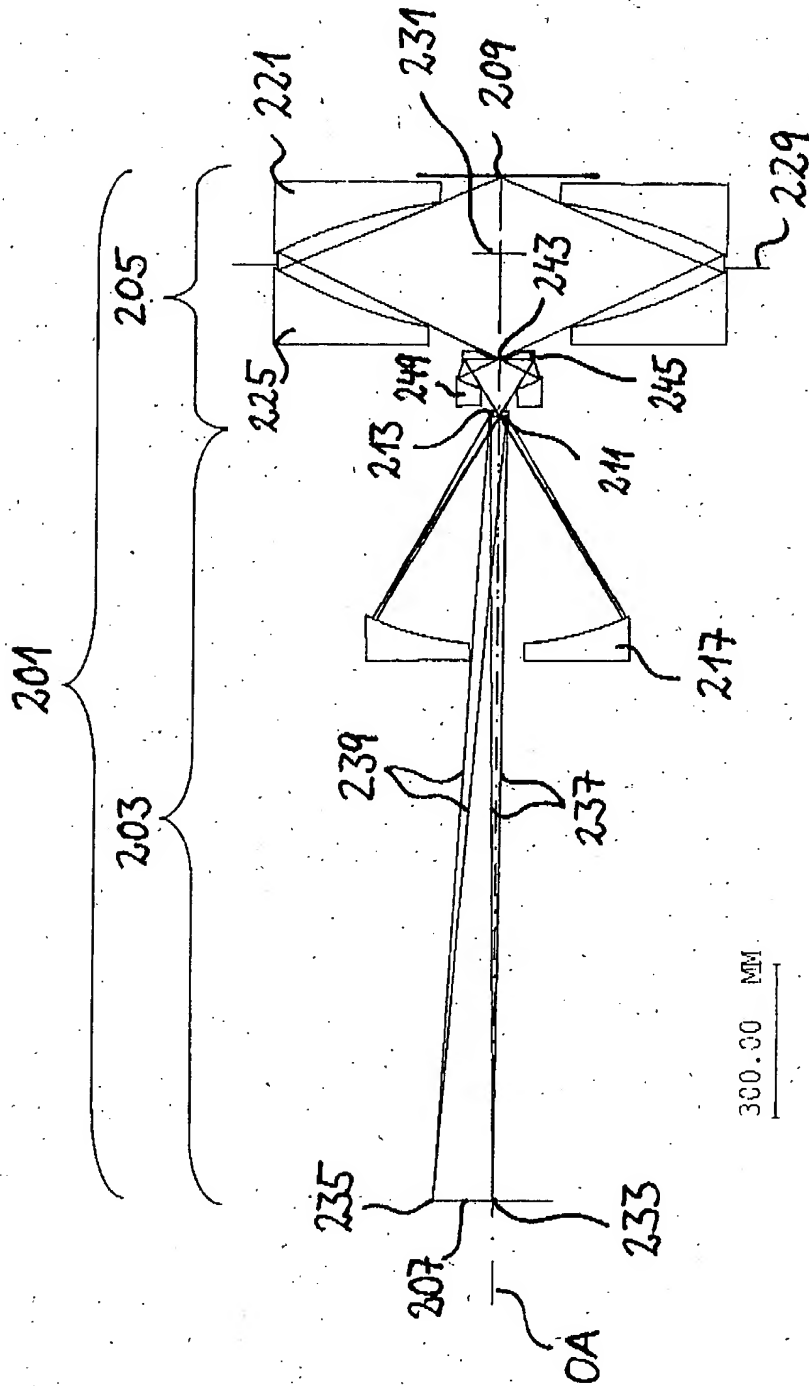


Fig. 2A

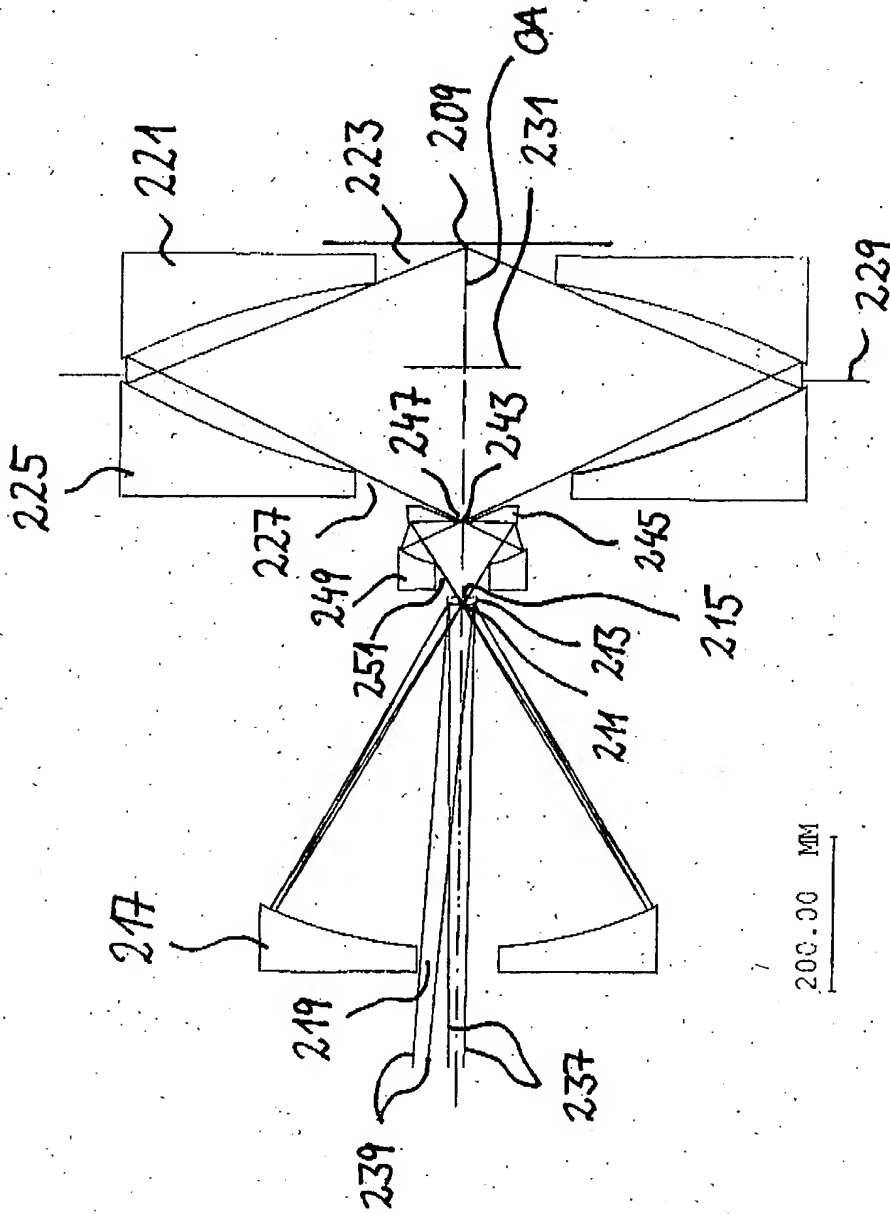


Fig. 2B

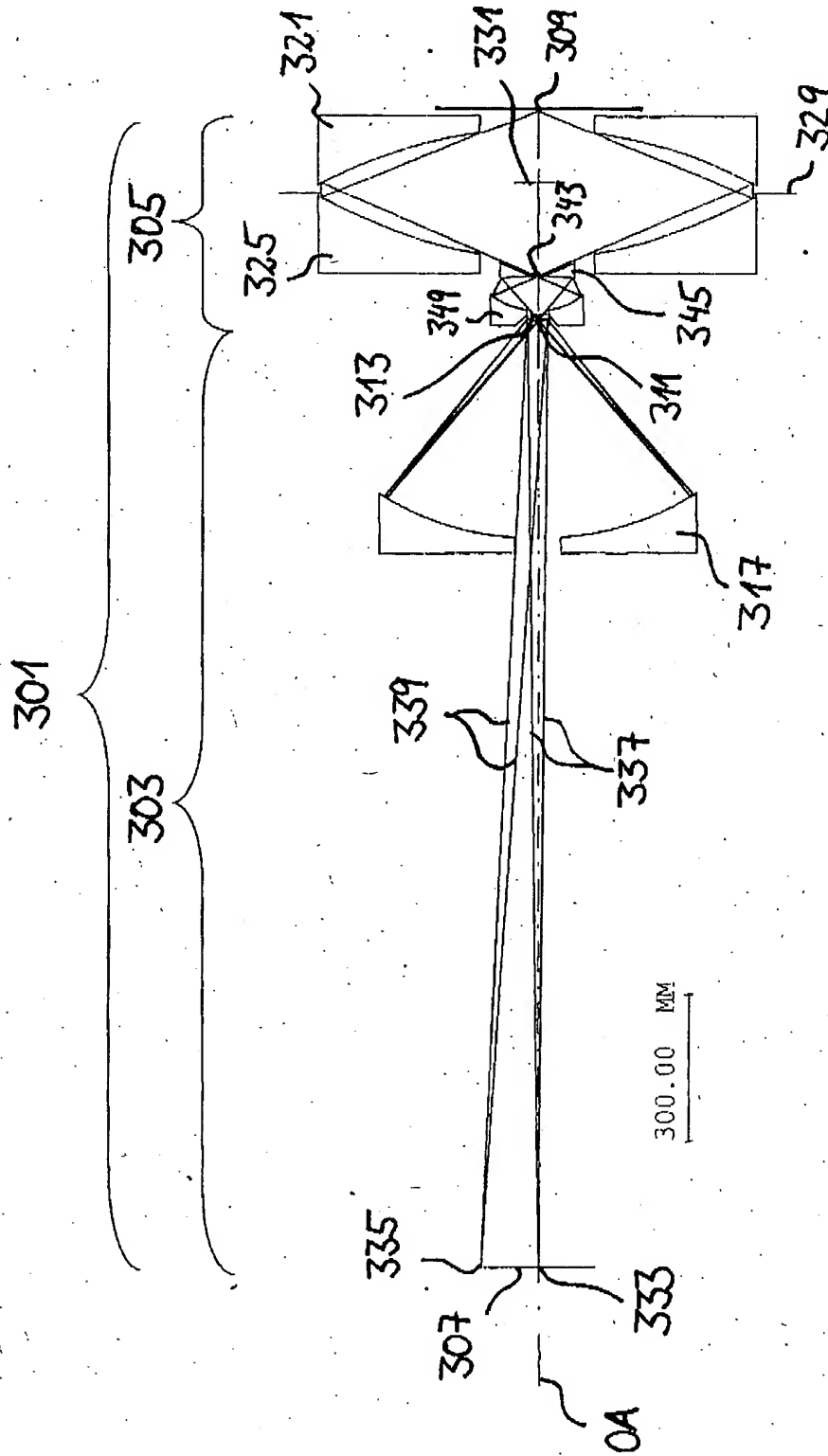


Fig. 3A

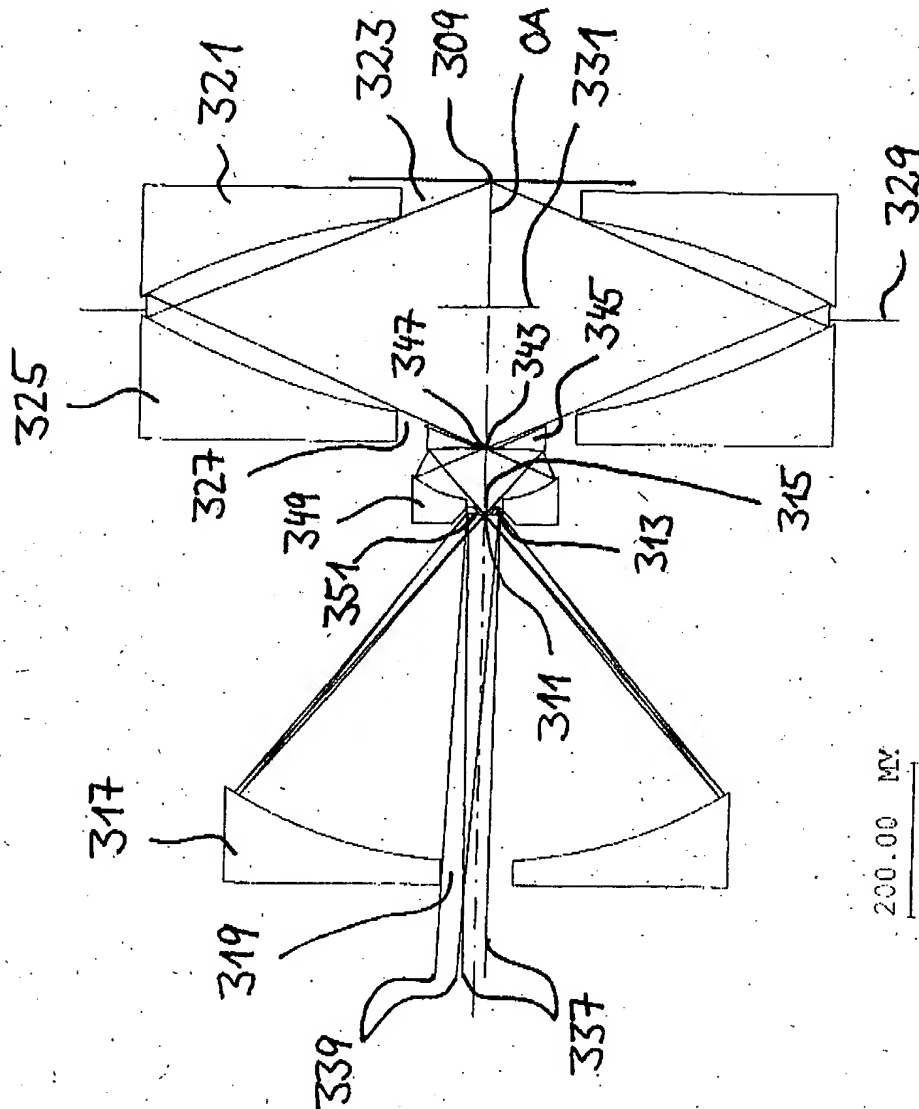


Fig. 3B

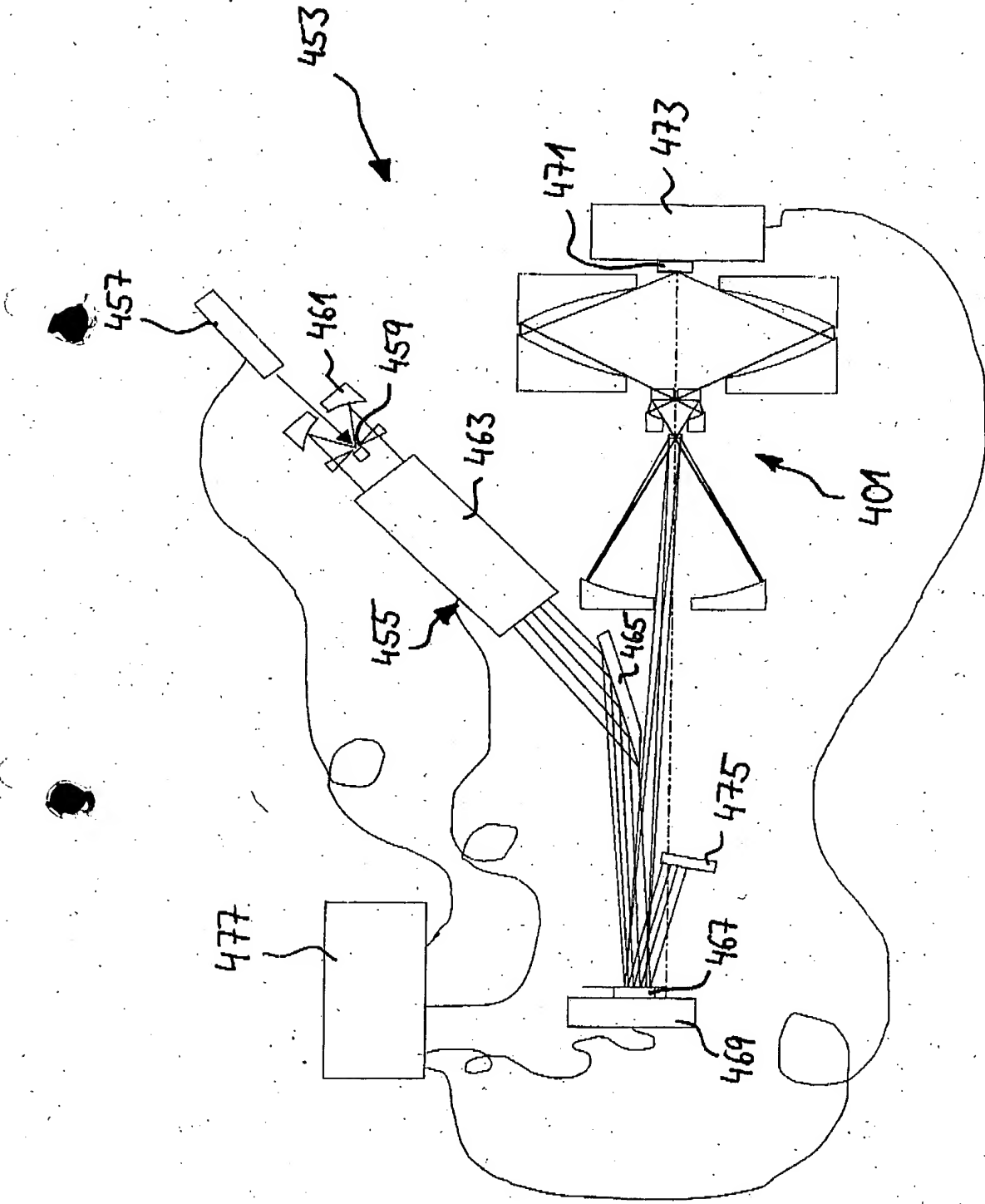


Fig. 4

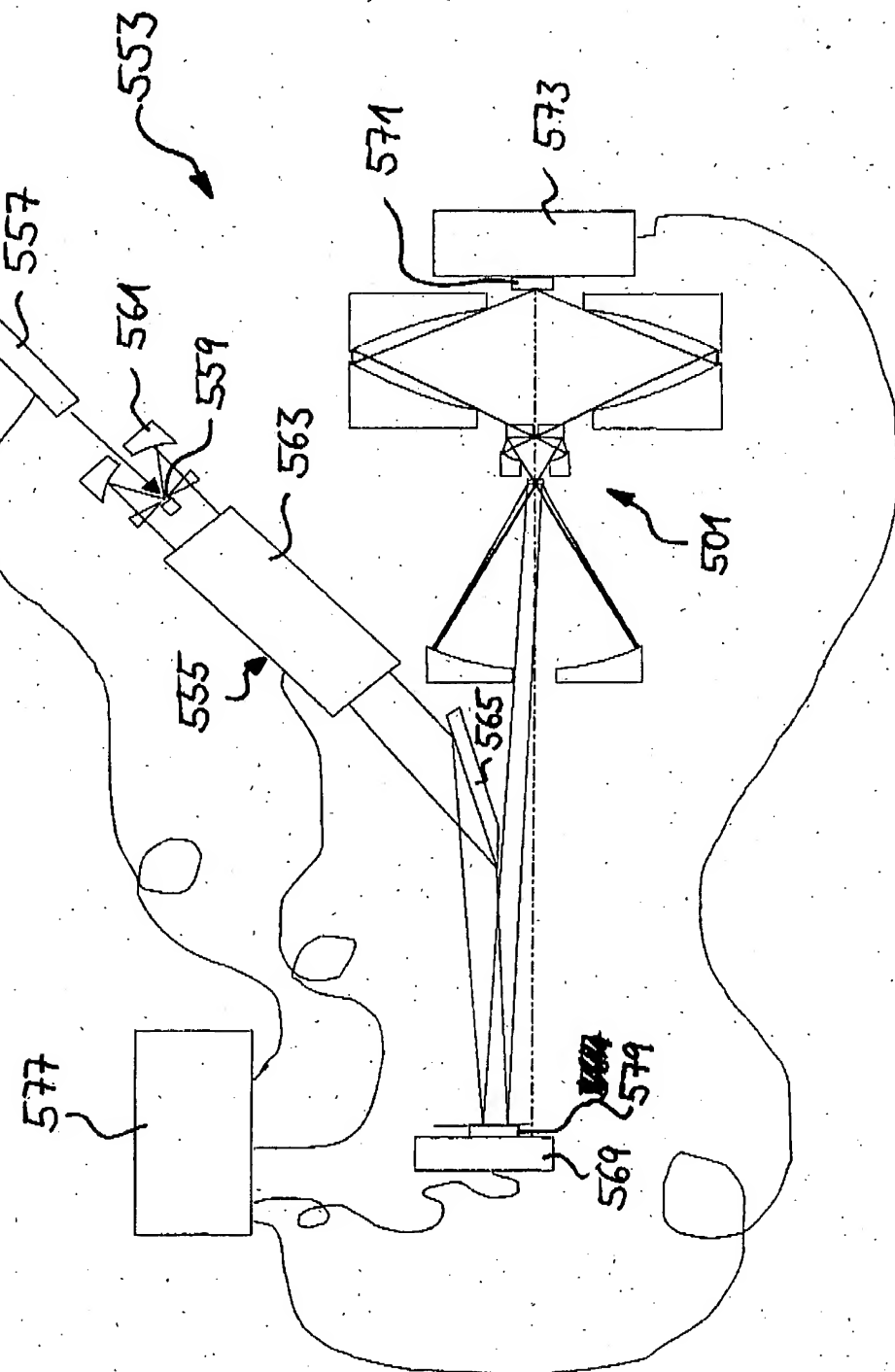


Fig. 5

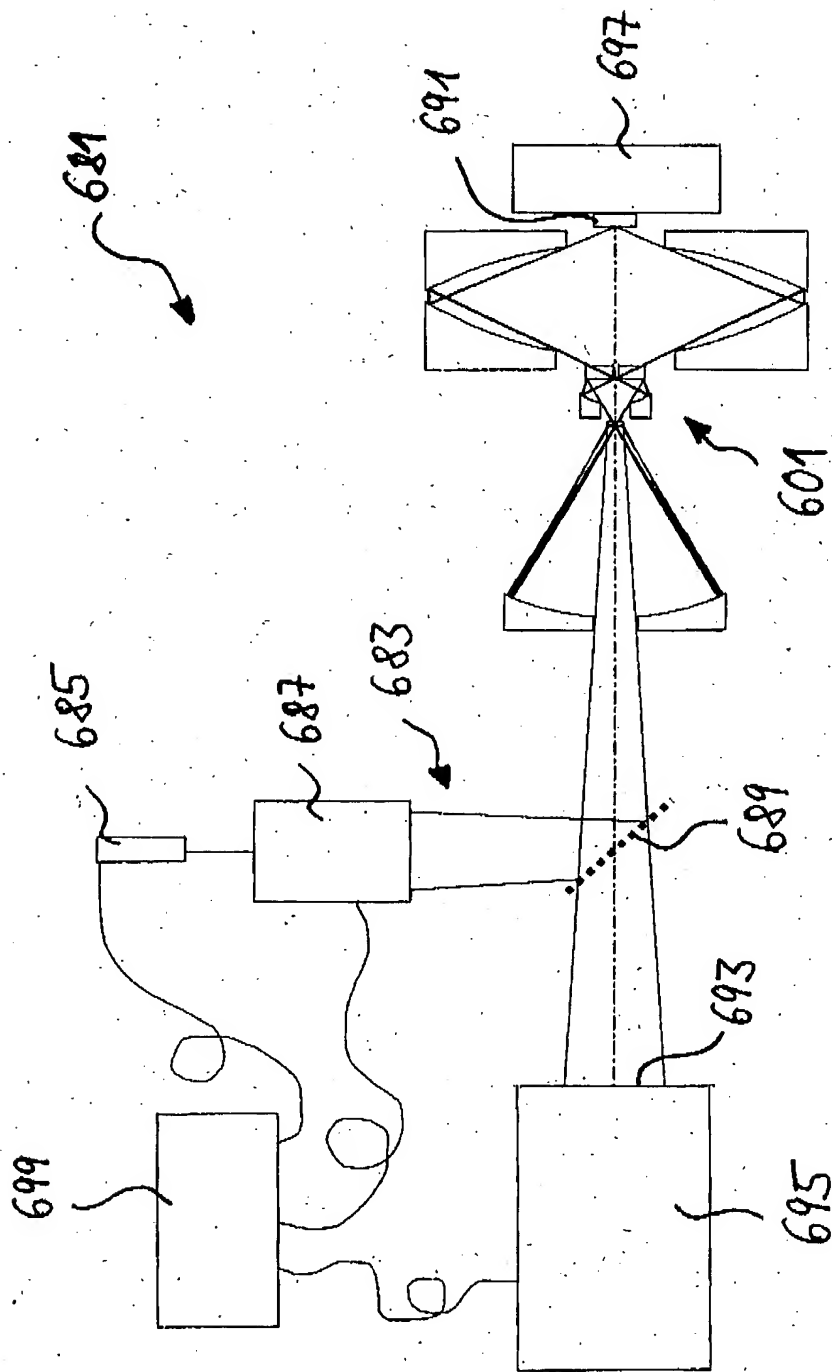


Fig. 6